



Escuela Superior de Ingenieros
Universidad de Sevilla
Proyecto Fin de Carrera

Diseño de una Metodología para la Estimación de Consumo Energético y Emisiones Contaminantes en Flotas de Transporte por Carretera

Departamento:
Organización Industrial y Gestión de Empresas

Tutor: Dr. D. Jesús Racero Moreno
Alumno: M^a Teresa Campos Chacón

Sevilla a 20 de Mayo de 2013

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Estado del Sector Transporte	1
1.2. Impacto Ambiental de las Flotas de Transporte	6
1.3. Auditorías Energéticas de Flotas	15
1.3.1. Fase 1: Trabajos Previos de Información y Toma de Datos	18
1.3.2. Fase 2: Diagnósis de la Situación Actual y Tendencial	20
1.3.3. Fase 3: Propuestas de un Plan de Actuaciones.....	29
1.4. Normativas.....	32
2. OBJETIVOS	37
3. ESTADO DEL ARTE	41
3.1. Modelos de Consumo Energético.....	41
3.1.1. Introducción.....	41
3.1.2. Modelos de Consumo Instantáneo de Combustible	42
3.1.3. Modelos de Consumo Modal de Combustible	47
3.1.4. Modelos de Consumo Combustible basados en la Velocidad Media....	55
3.2. Modelos de Estimación de Emisiones Contaminantes	75
3.2.1. Introducción.....	75
3.2.2. Modelos de Emisiones Contaminantes	82
3.3. Biblioteca de Actuaciones en Auditorías Energéticas de Flotas	85
3.3.1. Introducción.....	85
3.3.2. Ámbitos de Actuación y Medidas de Mejora	86
4. DISEÑO DE METODOLOGÍA DE INVENTARIOS ENERGÉTICOS Y MEDIOAMBIENTALES EN FLOTAS DE TRANSPORTE Y ESTIMACIÓN DE IMPACTO DE MEDIDAS DE MEJORA	95
4.1. Cálculo de Inventario Energético y Medioambiental	96
4.1.1. Toma de Datos.....	97
4.1.2. Análisis y Procesado de Información.....	111
4.1.3. Aplicación de Modelos.....	118
4.2. Estimación del Impacto Energético y Medioambiental por la Implantación de Medidas de Mejora	131
4.2.1. Selección de Actuación	132
4.2.2. Aplicación de Modelos.....	137
4.3. Sistema de Seguimiento de Actuaciones	173

4.3.1.	<i>Puesta en Marcha de Medidas de Mejora</i>	175
4.3.2.	<i>Sistema de Seguimiento basado en Indicadores</i>	176
5.	APLICACIÓN Y VALIDACIÓN	223
5.1.	Introducción.....	223
5.2.	Caracterización de la recogida de RSU de Alcalá de Guadaíra.....	225
5.2.1.	<i>Consideraciones Previas</i>	225
5.2.2.	<i>Flota de Vehículos</i>	226
5.2.3.	<i>Rutas de Recogida de RSU</i>	227
5.3.	Cálculo de Inventarios Energéticos y Medioambientales.....	234
5.3.1.	<i>Inventario Energético y Medioambiental Actual</i>	234
5.3.2.	<i>Inventario Energético y Medioambiental Tendencial</i>	248
5.3.3.	<i>Validación Inventario Energético y Medioambiental</i>	251
5.4.	Cálculo de Impacto de Implantación de Medidas de Mejora	253
5.4.1.	<i>Impacto de Implantación de Medidas de Mejora</i>	253
5.4.2.	<i>Validación Impacto de Medidas de Mejora</i>	269
6.	CONCLUSIONES Y EXTENSIONES	277
6.1.	Conclusiones.....	277
6.2.	Extensiones	283
7.	BIBLIOGRAFÍA	287
8.	ANEXOS	291

1.INTRODUCCIÓN

1.1. Estado del Sector Transporte

El Sector Transporte consume un 37,4% del total de energía final consumida en España, siendo el primer sector consumidor por encima de la industria y del resto de sectores consumidores como se puede observar en la figura 1. Este sector es, también, el responsable de la emisión del 32% de Gases de Efecto Invernadero (especialmente CO₂), el cual se enfrenta a un importante reto en los próximos años para conseguir el cumplimiento de los compromisos internacionales en este ámbito.

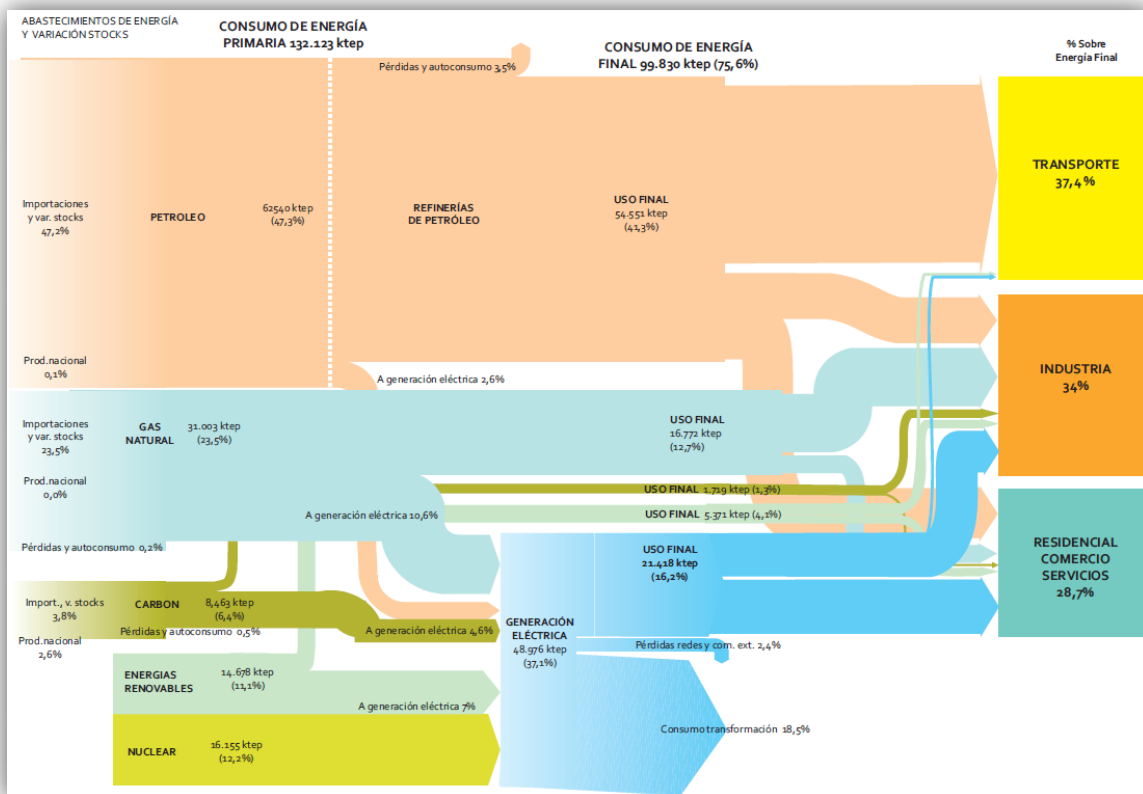


Fig 1. Diagrama de Sankey de la Energía en España en 2010 [LEE2010]

Un balance conjunto de energía final desde 1990 indica que la demanda del transporte ha crecido significativamente. Ha ido creciendo el 1,4% anual desde dicho año, aunque en la segunda mitad de los 80 lo hizo al 4,7% anual, lo que indica la mejora en la intensidad energética de este sector, que ya supera el 33% de la demanda final para usos energéticos, frente al 14,6% en 1985. Entre 1990 y 2009, el consumo del transporte aumentó un 31%, frente al 3,2% de crecimiento de la demanda final indicada. [LEE2010].

La Unión Europea presenta una gran dependencia energética del exterior, ya que más de la mitad de la energía primaria consumida procede de importaciones. En 2009, el consumo de energía procedente de fuentes propias respecto del consumo total de energía primaria en dicho año (grado de autoabastecimiento energético) son los que se muestran a continuación (en Andalucía alcanzó el 5,8%).

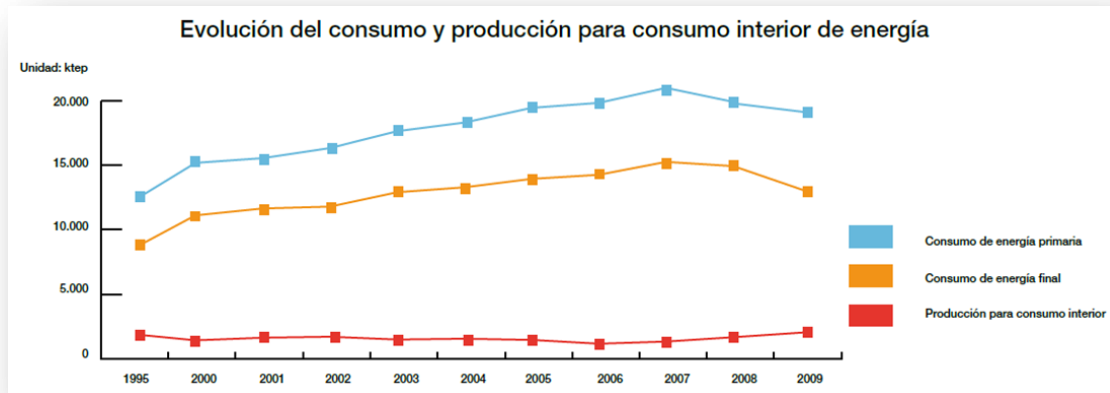


Fig 2. Evolución del consumo y producción para consumo interior de energías en la UE

La mayoría de la energía primaria consumida proviene de fuentes no renovables como se puede observar a continuación:

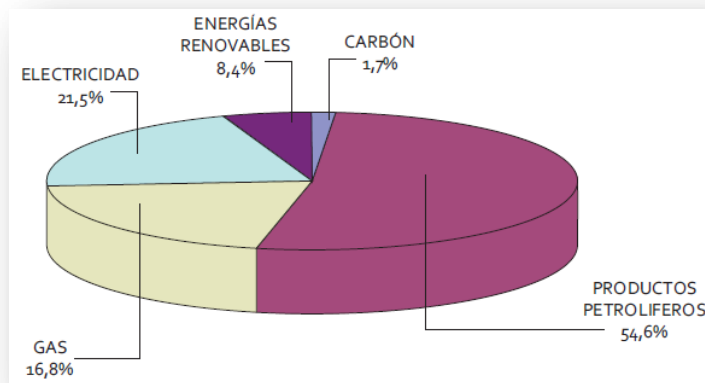


Fig 3. Consumo de energía final en España en 2010 [LEE2010]

En el caso del Sector Transporte por Carretera, prácticamente la totalidad de la energía primaria consumida proviene del petróleo, lo que agrava los problemas generados por la excesiva dependencia de los combustibles fósiles y por el aumento de las emisiones de CO₂, que da lugar a los fenómenos del calentamiento global del planeta y del cambio climático, ya que la principal y casi única fuente de energía en el transporte es el petróleo y los biocarburantes y otros combustibles alternativos son fuentes casi residuales.

En el consumo de carburantes en España en el Sector del Transporte por Carretera, cabe destacar que dicho consumo es de unos 11.000 millones de litros de gasolina y de unos 24.000 millones de litros de gasóleo al año, siendo los turismos y las furgonetas los vehículos de mayor consumo.

En Andalucía, respecto al consumo de energía final consumida por sectores, el sector del Transporte es el principal consumidor energético también, por delante de la Industria como se puede apreciar en las siguientes figuras.

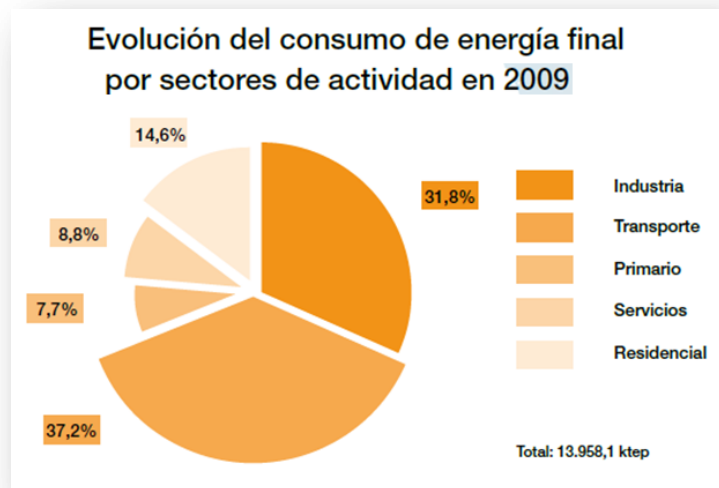


Fig 4. Evolución consumo de energía final por sectores de actividad en Andalucía

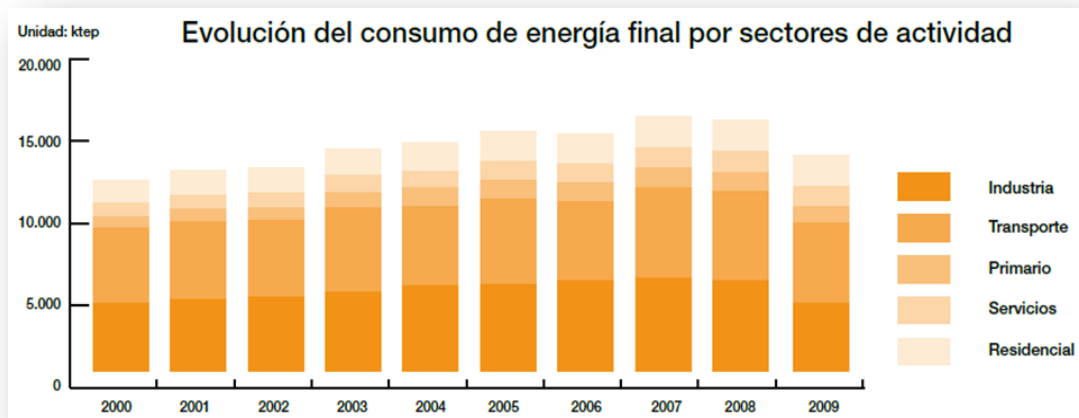


Fig 5. Evolución consumo de energía final por sectores de actividad en Andalucía

La tendencia de consumo de energía en el sector del Transporte ha sido creciente, si bien desde el año 2007, propiciado por el descenso de la movilidad de mercancías, el consumo de combustible disminuyó pero en un pequeño porcentaje.

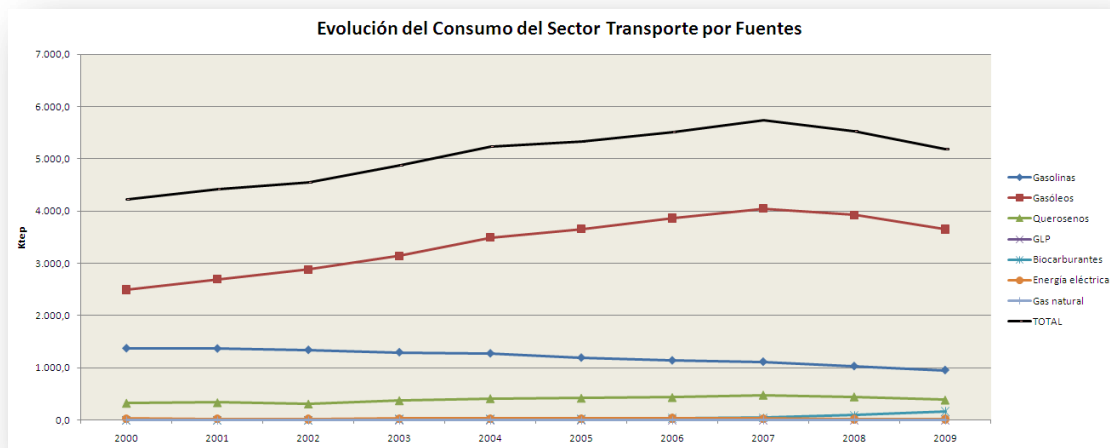


Fig 6. Evolución del consumo del sector del transporte por fuentes en Andalucía

Esta tendencia está directamente ligada al crecimiento de la movilidad de pasajeros y mercancías, elemento característico de las sociedades avanzadas en su desarrollo económico y social. Estos datos hacen referencia a la tendencia decreciente del consumo de gasóleos (-6,9%) y del consumo de gasolinas (-7,4%) al igual que supone una tendencia creciente del consumo de biocarburantes (70 %).

En Andalucía, analizando por fuentes, gasolinas y gasóleos engloban el 86,8% del consumo total del sector transporte. En segundo lugar, se sitúan querosenos (combustible de aviación) y biocarburantes con el 8,1% y 4,5% respectivamente. GLP, gas natural y electricidad suponen tan sólo el 0,6% del total. Destaca el crecimiento registrado por los biocarburantes, del 37,2% (62,1 ktep) y la recuperación del consumo de querosenos que crece en 22,8 ktep, un 5,9% más que en 2009.

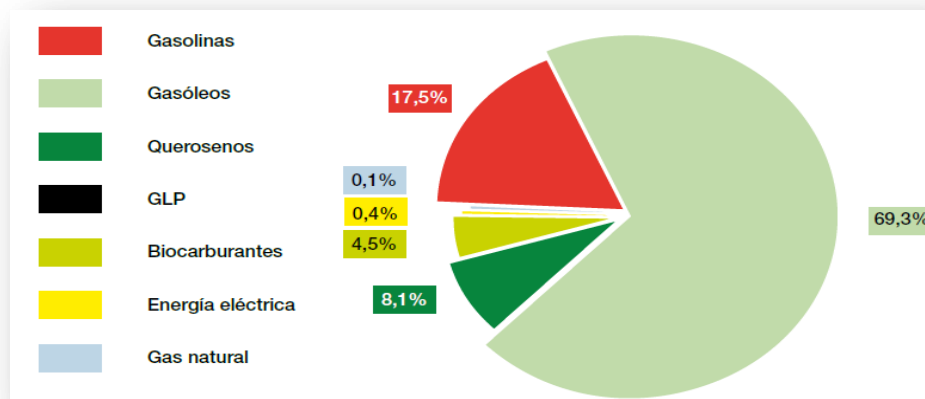


Fig 7. Distribución del consumo del sector transporte por fuentes en Andalucía – Año 2010 [AAE2010]

En las flotas de transporte, el combustible tiene especial relevancia en su estructura de costes, y más aún con los actuales precios a los que se cotiza el crudo en el mercado. Por tanto, para el adecuado desarrollo de su actividad económica, se hace necesaria la realización de una gestión eficiente del combustible en las mismas y de disponer de herramientas que permitan la estimación del consumo energético de sus vehículos.

En los últimos años se están poniendo en práctica iniciativas y estrategias para controlar y reducir los consumos energéticos y emisiones contaminantes en el Transporte por Carretera. Así, desde la perspectiva energética, las autoridades españolas disponen de la Estrategia Española de Ahorro y Eficiencia Energética (E4), la cual en el Sector Transporte propone e incentiva a empresas la realización de Auditorías Energéticas de Flotas de Transporte y la Implantación de Estrategias de Mejora derivadas de las mismas. Pero, a día de hoy no existen ni normativas, ni metodologías, ni guías estándares para realizar Auditorías Energéticas en Flotas de Transporte.

Desde la perspectiva ambiental y como consecuencia de los requerimientos de reducción de emisiones contaminantes del protocolo de Kioto, las autoridades españolas disponen de la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia, la cual, entre otros objetivos, busca la reducción de las emisiones de los GEI en el ámbito del Transporte por Carretera.

Recientemente, se ha aprobado la Estrategia Española de Movilidad Sostenible, la cual integra en un mismo marco las diferentes políticas y actuaciones que inciden sobre el transporte y la movilidad y su sostenibilidad, entre las cuales se identifican como prioritarias las actuaciones tendentes a una gestión más eficiente de flotas de transporte, tanto públicas como privadas.

Desde otra perspectiva, los programas de ahorro y eficiencia energética en vehículos en diversos países van directamente ligados a la regulación de las emisiones, forzando a la industria automovilística a producir vehículos más eficientes y reduciendo el uso de combustibles fósiles. La regulación de las emisiones en los vehículos se debe en algunos casos a acuerdos entre los países de la Unión Europea, como en las Directivas Europeas “EURO” de emisiones máximas de sustancias contaminantes en vehículos nuevos, o en otros casos a legislación nacional como el Real Decreto 837/2002 sobre etiquetado del consumo y emisiones de CO₂ en turismos, o como la Ley 34/2007 sobre el impuesto de matriculación de los vehículos en función de las emisiones de CO₂ por kilómetro.

1.2. Impacto Ambiental de las Flotas de Transporte

En los últimos años, la investigación científica sobre el cambio climático se ha desarrollado considerablemente, y se ha confirmado que las actividades humanas, como la quema de los carburantes fósiles, son probablemente las responsables del cambio climático. El calentamiento del planeta ya está teniendo muchas consecuencias cuantificables y en el futuro esperan cambios costosos y de gran envergadura.

Las principales causas de este cambio se deben a la variación de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles en la atmósfera, las variaciones de la cubierta terrestre y de la radiación solar que provocan alteraciones en el equilibrio energético del sistema climático.

Las emisiones mundiales de GEI como consecuencia de actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70% entre 1970 y 2004 como se puede ver en la figura 8.

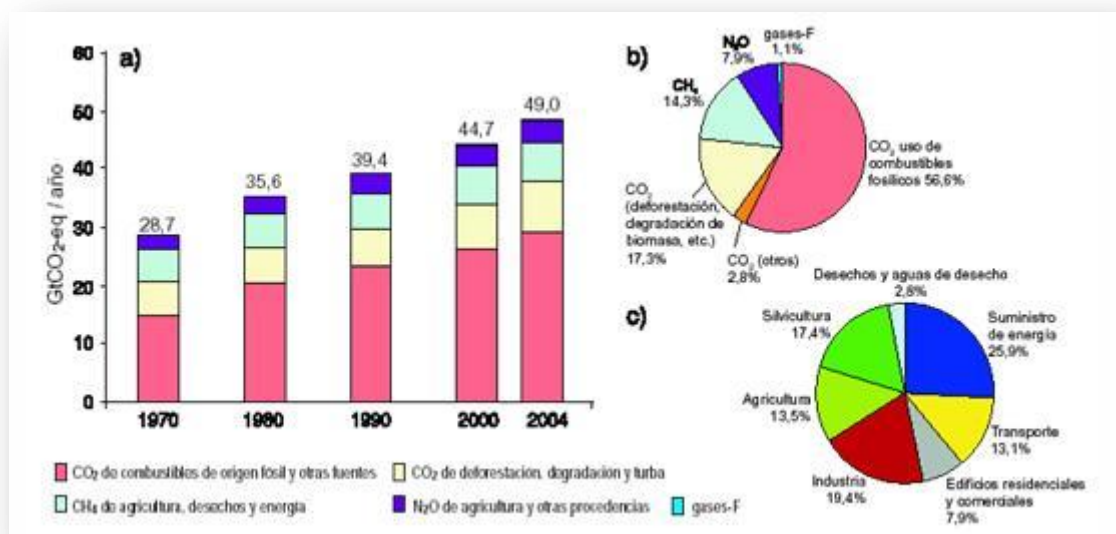


Fig 8. Emisiones de GEI antropógenos entre 1970 y 2004. [IPCC]

El dióxido de carbono (CO₂) es el GEI antropógeno más importante. Sus emisiones anuales aumentaron en torno a un 80% entre 1970 y 2004. La disminución a largo plazo de las emisiones de CO₂ por unidad de energía suministrada invirtió su tendencia a partir del año 2000 (Figura 9).

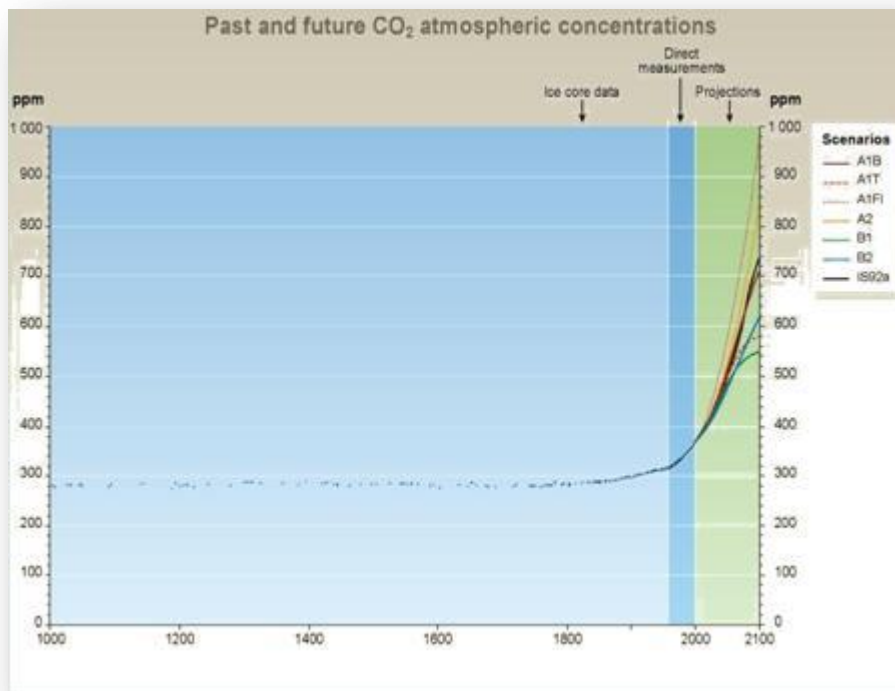


Fig 9. Concentraciones de CO₂. [IPCC]

Las concentraciones atmosféricas mundiales de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) han aumentado notablemente por efecto de las actividades humanas desde 1750, y son actualmente muy superiores a los valores preindustriales, determinados a partir de núcleos de hielo que abarcan muchos milenios [EME2007].

Las concentraciones atmosféricas de CO₂ y CH₄ en 2005 excedieron con mucho el intervalo natural de valores de los últimos 650.000 años. Los aumentos de la concentración mundial de CO₂ se deben principalmente a la utilización de combustibles de origen fósil y, en una parte apreciable pero menor, a los cambios de uso de la tierra (Figura 10). Es muy probable que el aumento observado de la concentración de CH₄ se deba predominantemente a la agricultura y a la utilización de combustibles de origen fósil. El aumento de metano ha sido menos rápido desde comienzos de los años 90, en concordancia con las emisiones totales (como suma de fuentes antropógenas y naturales), que han sido casi constantes durante ese período. El aumento de la concentración de N₂O procede principalmente de la agricultura.

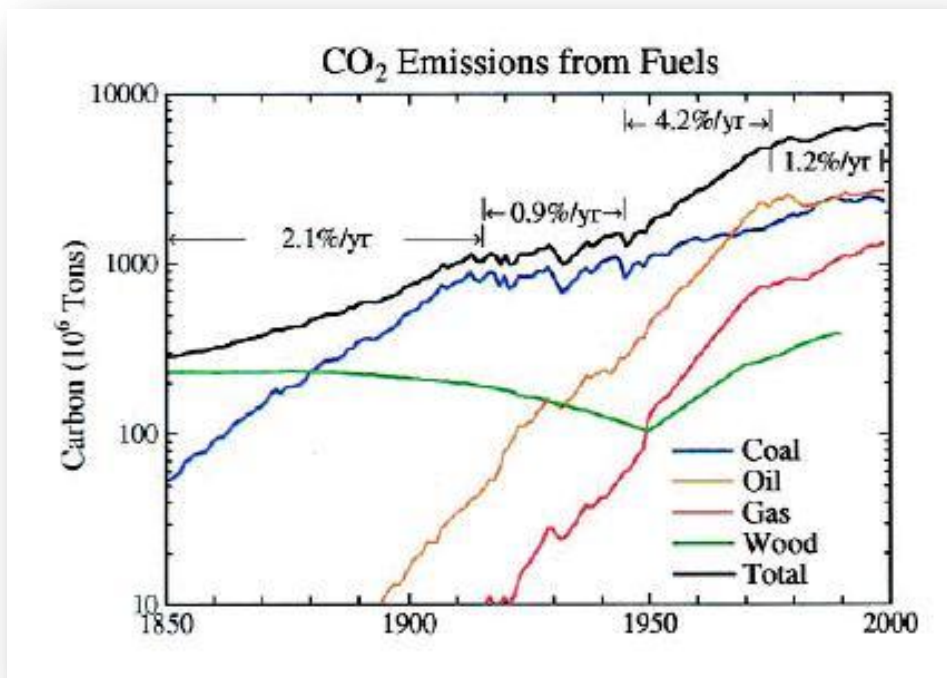


Fig 10. Emisiones de CO₂ por el uso de Fuel. N. Makarova (The Rockefeller University).

Las sociedades pueden responder al cambio climático adaptándose a sus impactos y reduciendo las emisiones de GEI, reduciendo con ello la tasa y magnitud del cambio, a esto se le denomina mitigación.

La capacidad para adaptarse y para atenuar los efectos del cambio depende de las circunstancias socioeconómicas y medioambientales y de la disponibilidad de información y tecnología. Sin embargo, se dispone de mucha menos información acerca de los costos y de la efectividad de las medidas de adaptación que acerca de las medidas de mitigación.

En España, y con el objetivo de integrar y revisar todos estos estudios y poner al día el estado de conocimiento existentes, la Oficina Española de Cambio Climático promovió durante los años 2003 y 2004 la realización del llamado proyecto ECCE (Efectos del Cambio Climático en España), cuyo informe final se publicó en 2005 (Evaluación Preliminar General de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático) [PAC2007].

Analizando pormenorizadamente por sectores, los estudios señalan al transporte por carretera como el mayor contribuyente al calentamiento desde finales del siglo XIX, seguido de la aviación. Otros medios, como el tren, han reducido su influencia durante los últimos años. Algunos investigadores han hallado también que el transporte marítimo contribuye a “enfriar” a medio plazo el planeta por su emisión de gases que reflejan la radiación solar, como el SO₄ o el CO [CAM2009].

En la siguiente figura, se puede observar cómo en los últimos 150 años la concentración de CO₂ en la atmósfera ha crecido considerablemente:

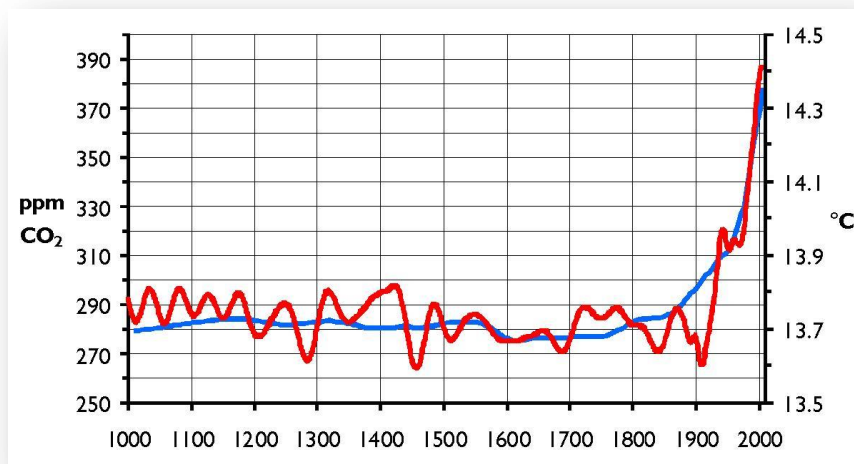


Fig 11. Concentración de dióxido de carbono en la atmósfera en los últimos 1000 años.

El transporte es el responsable del 32% de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), el principal gas invernadero, y el transporte por carretera lo es de tres cuartos de este porcentaje. De seguir la tendencia actual, las emisiones del transporte se incrementarán en un 40% aproximadamente para el 2015. Esta dinámica se debe a la escalada del tráfico por carretera y aéreo (que son los medios más ineficientes), a la pérdida creciente de eficiencia del transporte (debido a la saturación, a la utilización de vehículos de carretera cada vez más pesados y potentes, a la pérdida de cuota de pasajeros y mercancías del ferrocarril...), etc. [JAM2009].

Además, el automóvil destruye el ozono de la estratosfera, donde es más necesario, pero en la zona baja de la atmósfera, en la troposfera, donde no lo necesitamos, el automóvil produce grandes cantidades de ozono troposférico al reaccionar los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos en presencia de la luz solar, dañando la salud de las personas, los cultivos, los árboles y las plantas en general.

El transporte es, junto con las centrales termoeléctricas de carbón, la principal causa de las lluvias ácidas, debido a la emisión de óxidos de nitrógeno y de dióxido de azufre.

Diariamente nuestros pulmones filtran 15 kilos de aire y si vivimos en una gran ciudad o próximos a una carretera, ese aire contendrá contaminantes emitidos por los automóviles, como el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno, el dióxido de azufre, partículas, plomo y dicloro-1,2-etano, hidrocarburos, formaldehído, y contaminantes secundarios como el ozono y los peroxiacetilnitratos, algunos de ellos cancerígenos, y casi todos perjudiciales para la salud humana. El monóxido de carbono se combina 210 veces más rápidamente con la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, formando la carboxihemoglobina, que impide la oxigenación de los tejidos.

La contaminación se agrava tanto por situaciones temporales, como las inversiones térmicas, como por la congestión en las horas punta. En las grandes ciudades españolas cada año en los meses de noviembre, diciembre y enero la contaminación alcanza límites excesivos, que generan irritación de las vías respiratorias y efectos nocivos a largo plazo para la salud [JAM2009].

Si se analiza la evolución de la cantidad de CO₂ producida en el mundo a partir de fuel (figura 12) se observa que desde 1971 hasta 2005 la producción de CO₂ proveniente del fuel, ha tenido un crecimiento descontrolado, pasando de apenas 14.000 Mt. de CO₂ producidos a 27.136 Mt., esta evolución de emisiones, está en contra de la idea de sostenibilidad, pudiendo crear, si esta tendencia continúa, unos cambios irreversibles en el ambiente y ecosistema del planeta.

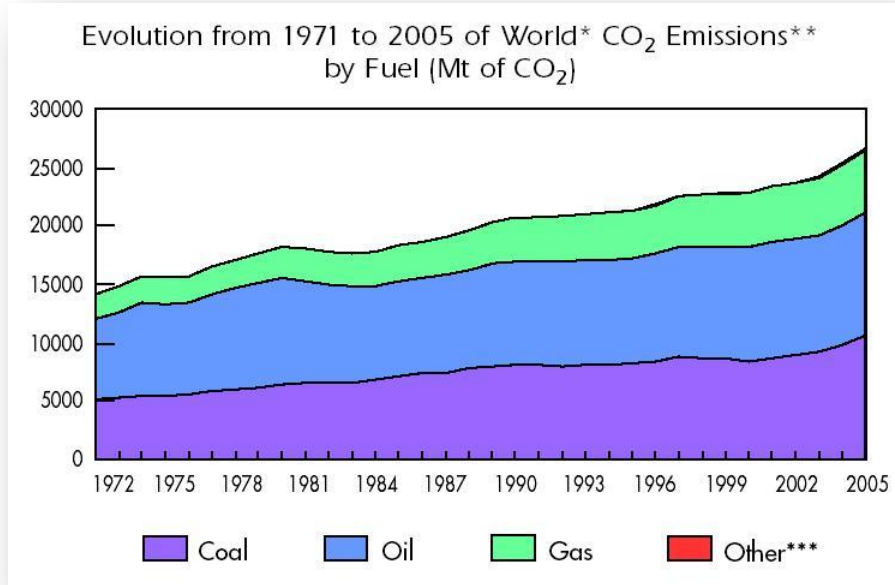


Fig 12. Evolución de las emisiones de CO₂ en Mts. a partir de fuel en el mundo.

Además, en este periodo de evolución de emisión de gases, la distribución de emisiones por países es la observada en la figura 13, donde los países para la cooperación y desarrollo económico, disminuyen su importancia respecto a un cómputo global y países con gran crecimiento económico y desarrollo como China o Asia aumentan de manera considerable su proporción respecto al total [IEA2007].

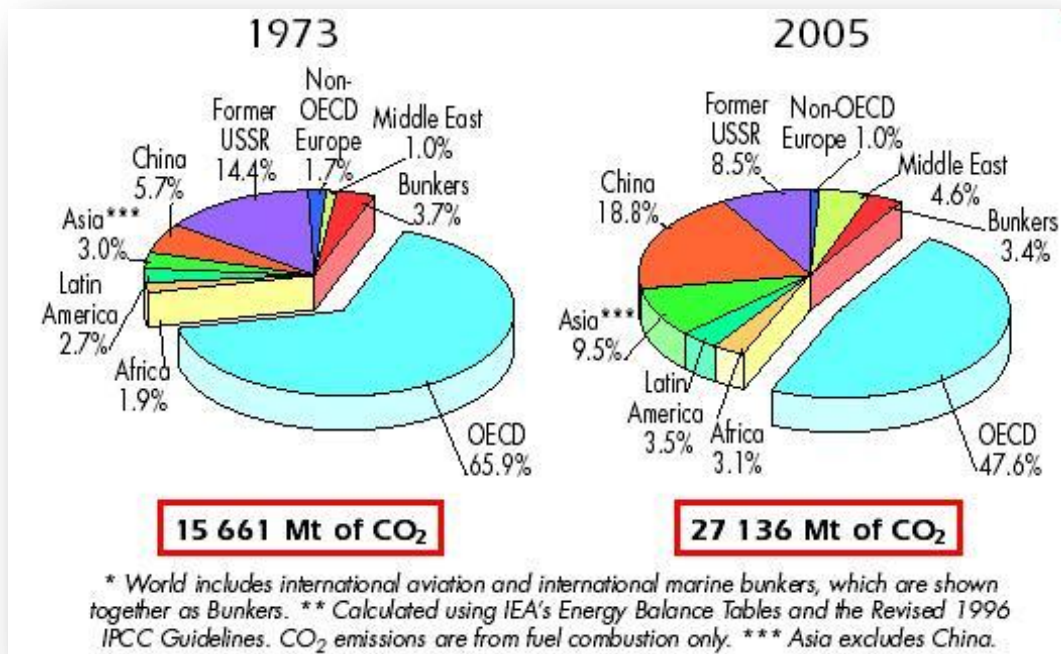


Fig 13. Cambio de reparto de emisiones de CO₂ entre 1973 y 2005.

El sector del transporte profesional por carretera, de pasajeros y de mercancías, es esencial para garantizar un adecuado desarrollo social y económico en nuestro país, así como para el logro de una mayor cohesión del territorio.

Sin embargo, el consumo energético del sector tiene una notable incidencia, tanto en el consumo global nacional como en la estructura de costes de las empresas. Por ello, resulta prioritario aumentar la eficiencia energética en el sector y reducir su consumo energético con el fin de mejorar su competitividad y sostenibilidad.

El uso de la energía es una constante en el desarrollo de cualquier actividad humana, entre ellas el transporte. Hasta ahora los estudios de planificación energética se habían centrado en prever la demanda de energía que la sociedad iba a requerir en un período de tiempo determinado, teniendo como objetivo cubrir dicha demanda bajo un planteamiento que consideraba ésta como un recurso infinito. Sin embargo, la demostrada afección que este planteamiento y el actual sistema energético tiene en el medio ambiente y su importante contribución al calentamiento global del planeta, apremian a un cambio del modelo energético.

Los nuevos modelos energéticos tienen en consideración que para satisfacer las necesidades actuales no hay que comprometer las capacidades de las generaciones futuras, es lo que se denominan modelos de desarrollo sostenibles.

En este marco de desarrollo sostenible, las actuaciones en política energética se encaminan hacia un modelo de abastecimiento energético no dependiente de terceros países y con el uso de fuentes de energía renovables que reduzcan las emisiones contaminantes de gases de efectos invernaderos (GEI). Estas medidas deben estar acompañadas por un uso eficiente de la energía.

La combustión de carburantes en los vehículos produce dos tipos de emisiones por el tubo de escape:

- Anhídrido carbónico (CO₂), inherente a todo proceso de combustión y que crece con el consumo de carburante.
- Los contaminantes que afectan a la calidad del aire, que dependen de la calidad de la combustión y de los sistemas anticontaminación que tenga el vehículo.

Por ejemplo, en los motores diesel, cada vez que un litro de gasóleo se quema en el motor, por el tubo de escape salen 2,6 kg de CO₂. Los científicos han demostrado que del CO₂ que se emite a la atmósfera una parte se acumula en la misma, siendo el principal causante de la modificación del denominado “Efecto Invernadero”. En los motores de combustión se da la siguiente reacción, donde se forman sustancias contaminantes:



Las sustancias contaminantes se emiten en cantidades mucho más pequeñas que las de CO₂, pero al acumularse en la atmósfera afectan a la calidad del aire, a la salud de los seres vivos y al ensuciamiento del ambiente. Las sustancias contaminantes más importantes son:

- El monóxido de carbono (CO): se produce por la incompleta combustión del carbón contenido en el combustible.
- Los compuestos orgánicos volátiles (COV): son generados por la combustión incompleta.
- Los óxidos de nitrógeno (NO_x): se forman en condiciones de alta temperatura y presión con exceso de aire.
- Las partículas (PM): corresponden a las llamadas partículas cuyo tamaño aproximado es de 1,3 micrones de diámetro promedio y está compuesto de hollín, hidrocarburos condensados y compuestos de azufre.

Por otra parte, en la Tercera Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, realizada en Kioto en diciembre de 1997, se establece una reducción global de las emisiones de los seis gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global de la atmósfera: CO₂ (dióxido de carbono), CH₄ (metano), N₂O (óxido nitroso), HFC (hidrofluorocarbonos), SF₆ (hexafluoruro de azufre) y PFC (perfluorocarbonos), del 5,2% entre 2008 y 2012 con respecto a los valores de 1990.

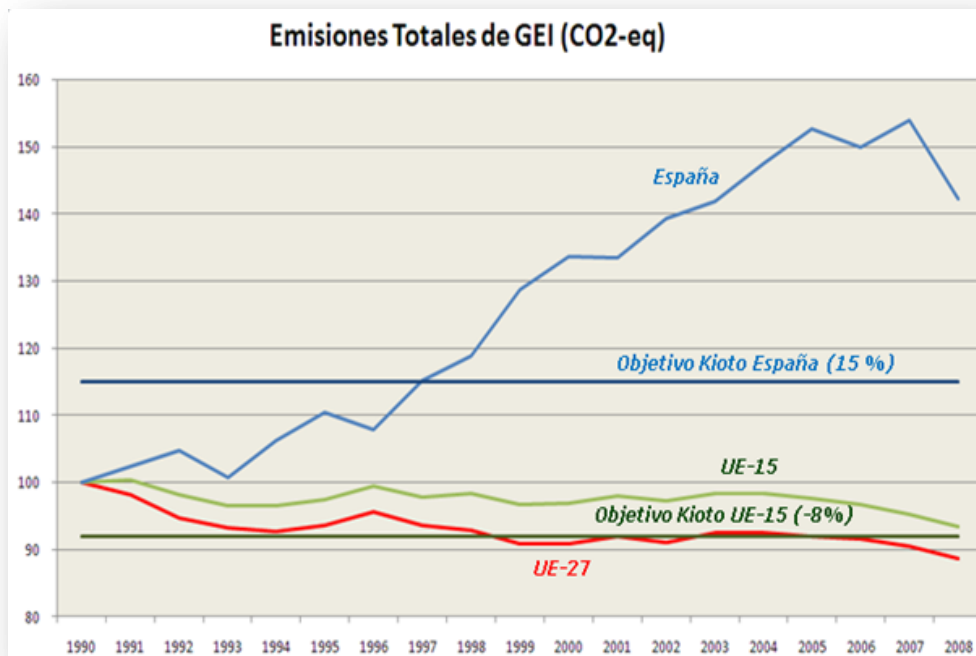


Fig 14. Emisiones totales GEI (CO₂-eq)

El compromiso de la Unión Europea en su conjunto es el de reducir para el año 2012 las emisiones de estos gases en un 8% referido a las emisiones habidas en 1990. Por su parte, España no debe aumentar sus emisiones más de un 15% sobre el mismo año.

El nivel real de emisión de CO₂ de un vehículo depende del rendimiento del mismo y de su utilización. Las emisiones de este gas se reducen de manera significativa consumiendo menos combustible y, por tanto, aumentando la eficiencia energética de los viajes, también adquiriendo coches energéticamente eficientes y utilizándolos racionalmente se contribuye a cumplir los objetivos de emisiones de CO₂ fijados por la Unión Europea y ratificados por España.

Otro de los acuerdos que se han llevado a cabo para reducir los contaminantes son las Directivas Europea (EURO) que obligan a los fabricantes a cumplir unos máximos de emisiones de contaminantes. Las emisiones de contaminantes de un vehículo nuevo se limitan por ley para los vehículos industriales nuevos a través de las Directivas Europeas, conocidas como Euro 3, 4, y 5.

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

Actualmente, las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), Hidrocarburos (HC), Monóxido de carbono (CO) y partículas (PM) están reguladas para la mayoría de los tipos de vehículos. Para cada tipo de vehículo se aplican normas diferentes. El cumplimiento se determina controlando el funcionamiento del motor en un ciclo de

ensayos normalizado. Los vehículos nuevos no conformes tienen prohibida su venta en la Unión Europea, pero las normas nuevas no son aplicables a los vehículos que ya están en circulación. En estas normas no se obliga el uso de una tecnología en concreto para limitar las emisiones de contaminantes, aunque se consideran las técnicas disponibles a la hora de establecer las normas: catalizadores, inyección, sobrealimentación, EGR, etc.

Cada directiva supone una etapa normalmente denominada Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4 y Euro 5 para vehículos ligeros y con números romanos para vehículos pesados. A continuación, se presenta una gráfica con los límites máximos permitidos en cada etapa de un vehículo turismo Diesel, tomando como referencia la etapa Euro I.

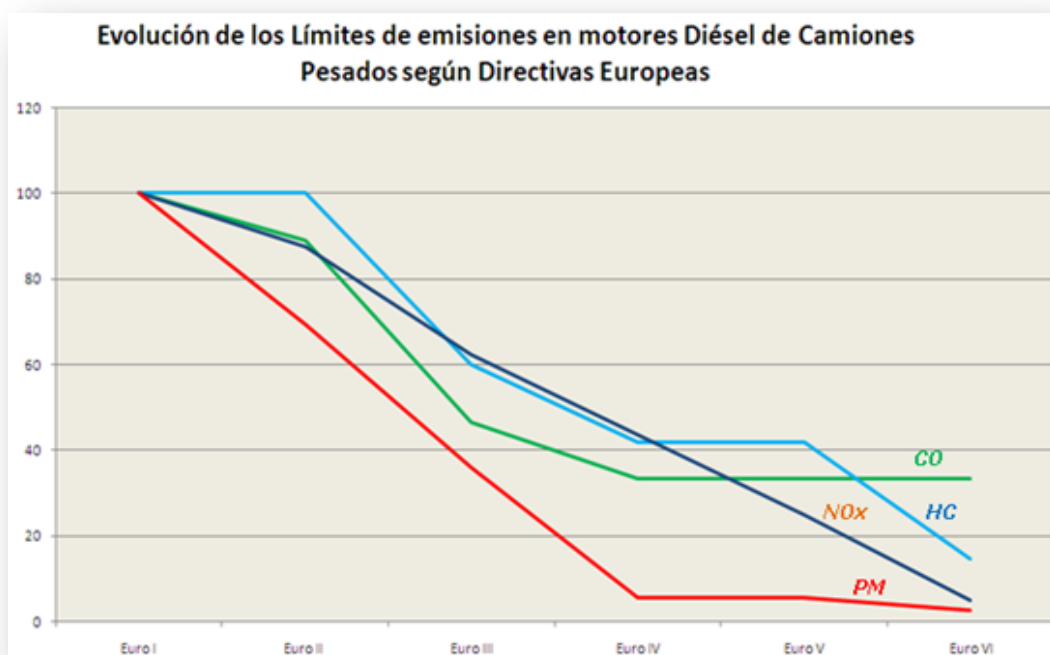


Fig 15. Evolución de los límites de emisiones en motores Diesel de camiones pesados según Directiva Europea

Se observa una drástica reducción de partículas prácticamente a valores nulos (de 0.5 a 0.005 gr/km) y del resto de gases contaminantes a valores por debajo de la mitad de los iniciales (año 92).

Las medidas analizadas junto con otras asociadas al uso de combustibles alternativos, han logrado reducir las emisiones de contaminantes de efecto local. Sin embargo, las emisiones de CO₂ han ido creciendo en España acompañando el crecimiento de la movilidad de mercancías y pasajeros.

El objetivo que se pretende es desacoplar ambas curvas: la de movilidad y la de emisiones de CO₂, a través de vehículos de menor consumo, o del uso de tecnologías y combustibles alternativos al gasóleo y la gasolina (eléctricos, biocarburantes, etc.), entre otras de eficiencia energética.

1.3. Auditorías Energéticas de Flotas

Una vez visto los problemas que conlleva el transporte en cuanto a consumo y emisiones contaminantes, es fundamental hacer una gestión eficiente de la flota de transporte, para entender correctamente el significado, se define eficiencia como el desempeño adecuado en la forma de realizar una actividad o usar unos equipos. Por lo que la gestión eficiente de una flota de vehículos, consiste en el conjunto de métodos que organiza las actividades de una flota de forma óptima para alcanzar los servicios ofertados, dichas actividades de gestión hacen referencia a: la estructura del parque móvil, el personal directo, los costes de operación, el consumo de combustible, la operación y el mantenimiento.

Algunos de los beneficios que se pueden alcanzar con una gestión eficiente de la flota son:

- Ahorro de energía, al reducir el consumo de combustible de la flota.
- Beneficio económico para la empresa, al reducir costes de combustible.
- Reducción de costes de mantenimiento, por una conducción más eficiente.
- Reducción de emisiones, por una renovación eficiente de la flota, además de por un menor consumo de combustible.
- Mejora de la velocidad media, por una planificación eficiente de rutas.
- Reducción del riesgo de accidentes, por una conducción segura.

Para considerar la importancia que puede tener una reducción del consumo de combustible en una flota, basta con ver la importancia que tiene el combustible en la estructura de costes de una empresa de transporte (en algunos casos en torno al 30% del total de costes), esto se puede observar en la figura 16:

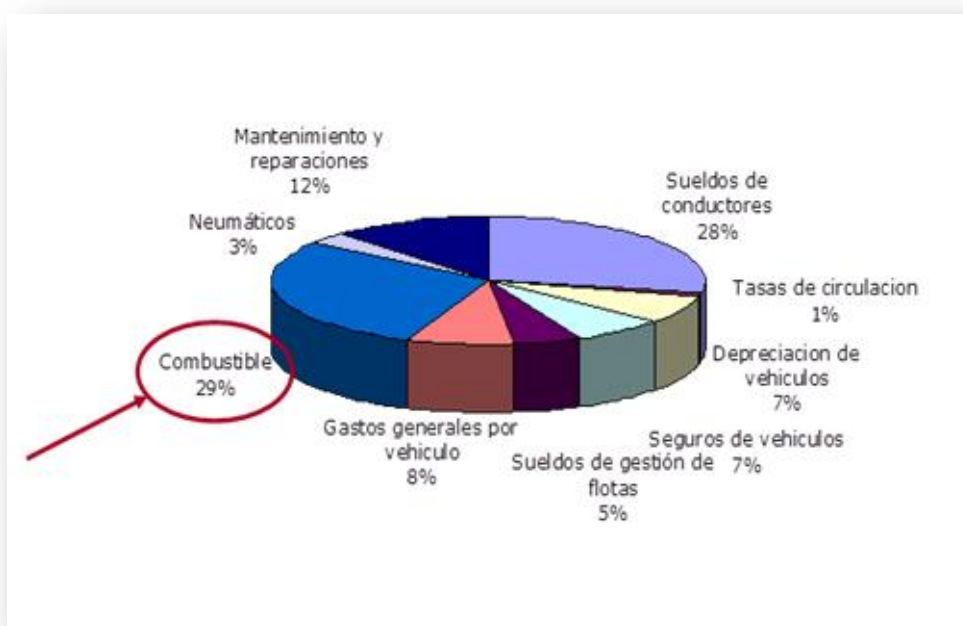


Fig 16. Porcentaje de costes en un vehículo según tipología

En este marco de actuación, aparecen las denominadas Auditorías Energéticas de Flotas de Transporte como instrumento de planificación y programación de actuaciones para reducir los consumos de energía por tonelada transportada.

Existe una metodología propuesta para la gestión eficiente y sostenible de flotas de vehículos, que pretende:

- Desarrollar un plan de renovación de la flota con vehículos más sostenibles.
- Fomentar la incorporación de biocarburantes como combustible alternativo.
- Desarrollar y mejorar la gestión del combustible, desde la compra hasta el control de su uso.
- Desarrollar un plan de mantenimiento de la flota.
- Establecer un programa de formación continua de personal en conducción eficiente y segura.
- Desarrollar una planificación y gestión eficiente de las operaciones.
- Emplear sistemas telemáticos para la localización y seguimiento de vehículos.
- Analizar periódicamente los costes de gestión de la flota.

Los objetivos parciales que se deben ir alcanzando en el proceso de elaboración de las Auditorías de Flotas son:

- Inventario de la flota de vehículos.
- Análisis y diagnóstico de la flota: dimensionado de la flota, rutas, ubicación de clientes, frecuencias y horarios, políticas existentes sobre mantenimiento, gestión del combustible y renovación de vehículos, empleo de sistemas telemáticos, con el fin de detectar aquellos factores que afecten al consumo.
- Análisis y diagnóstico tendencial de la flota: evolución previsible de la demanda del uso de la flota, considerando horizonte temporal, crecimiento económico, social, demográfico, etc.
- Inventario energético y medioambiental en relación a la situación actual de la flota. **Actualmente no existe una metodología estándar** para el consumo energético y emisiones de la flota, por lo que **se limita a calcular la huella de carbono** (CO₂ exclusivamente) **y los litros totales repostados**, sin incidir en el rendimiento de consumo de combustible ni otras sustancias contaminantes. El presente proyecto fin de carrera tiene como objetivo principal estandarizar los procesos de inventario, una vez detectada dicha carencia.
- Diseño, análisis y evaluación de un programa de actuaciones y escenarios futuros para la reducción de consumos y costes, seleccionando aquellas medidas que aporten un ahorro de energía y una mejora ambiental.
- Definición de indicadores que permitan el seguimiento y evaluación de la implantación de la Auditoría Energética.

La solución propuesta para la elaboración de estas Auditorías Energéticas de Flota de Transporte se estructura en 3 fases, y comprende actividades técnicas, introduciendo los correspondientes mecanismos para el control y seguimiento adecuados.

La siguiente figura muestra el esquema general de la metodología seguida:



Fig 17. Esquema General de la Metodología de Auditorías Energéticas de Flotas

La Fase 1 se dedica a la creación de los equipos de trabajo, para posteriormente realizar la recogida de toda la información de base existente, de manera que se tenga una primera aproximación a la gestión de la flota de vehículos que permita planificar la toma de datos. Los trabajos de campo, mediante encuestas, aforos, observación directa, investigación documental, etc., permitirán inventariar la flota de vehículos, así como recabar información respecto a aspectos operativos, energéticos, ambientales y económicos.

La Fase 2 comprende la realización y análisis del diagnóstico de la flota de vehículos a partir de la información obtenida en la fase anterior. Además, se completa con la evaluación del impacto energético y medioambiental de la situación actual y tendencial.

Por último, la Fase 3, se dedica al diseño de medidas y escenarios para la mejora de la situación actual, las cuales serán evaluadas con criterios económicos, energéticos, medioambientales y funcionales. Se introduce igualmente un sistema de seguimiento y evaluación basado en indicadores.

A continuación se describe la metodología para cada una de las fases que involucra la realización de las Auditorías Energéticas:

1.3.1. Fase 1: Trabajos Previos de Información y Toma de Datos

En esta fase se establece el Programa de Trabajo en cada una de las etapas del proceso de elaboración de la Auditoría Energética, para que una vez creados todos los grupos de trabajo, puedan colaborar coordinadamente entre sí

El siguiente paso es la definición de los objetivos generales que se pretenden cumplir con la puesta en práctica de la Auditoría Energética.

Los objetivos generales de esta fase son:

- Identificar los objetivos generales que marcarán la elaboración de la Auditoría Energética, definir y fijar las estrategias a partir de las cuales se podrán cumplir dichos objetivos.
- Definir los indicadores básicos que se emplearán a lo largo del desarrollo de la Auditoría Energética.
- El análisis de la información recabada en los trabajos previos de información permitirá identificar los objetivos generales que liderarán el proceso de implantación de la Auditoría Energética.
- Dichos objetivos marcarán, además, el grado de detalle de los trabajos y la orientación de los mismos a través de una estrategia definida, a partir de la cual se irán diseñando las medidas a adoptar que darán lugar al cumplimiento de los objetivos específicos.

Posteriormente, se define el Plan de Toma de Datos a realizar, con su puesta en marcha de los correspondientes trabajos de campo necesarios a través de encuestas, aforos, entrevistas, observación directa, que complementa a los trabajos previos de información e investigación documental, donde se revisan documentos que influyan de manera directa a la Auditoría Energética.

Por otra parte, se define una estructura de clasificación de indicadores básicos de seguimiento que se usan a lo largo del desarrollo del proyecto y que permiten evaluar la consecución de los objetivos fijados.

Los objetivos de la Recogida de Datos son:

- Obtener toda la información de base existente mediante investigación documental, para poder recabar el material necesario para comenzar a analizar la situación de la flota de vehículos y su ámbito de trabajo.
- Realización de una base informativa completa para inventariar el estado actual de la flota de vehículos, en base a encuestas, aforos, entrevistas y toma de datos “in situ”.
- Se recopilan todos los estudios existentes que puedan aportar información relevante a la Auditoría Energética (Planes Urbanísticos vigentes y previstos de los municipios afectados, estudios previos de movilidad urbanos e interurbanos, Planes Estratégicos, etc.), así como la información facilitada que involucren cualquier aspecto de la flota de vehículos.
- Con toda esta información se tiene una visión preliminar que permite identificar a alto nivel problemas y carencias de la flota de vehículos, así como en su entorno de acción.

- En un segundo paso se procede a la definición y puesta en marcha de los trabajos de campo y toma de datos e información “in situ” (encuestas, aforos, entrevistas, observación directa, documentos históricos o sistemas de información a bordo de los vehículos), de acuerdo a un Plan de Toma de Datos que permita completar y ampliar la misma para la correcta y precisa evaluación de la flota de vehículos y sus implicaciones energéticas y medioambientales.

La información recabada hace referencia tanto a los propios vehículos de la flota de transporte, como al personal de la misma, las propias instalaciones, e incluso en referencia a costes, mantenimiento y las operaciones de la flota en sí, permitiendo una visión del conjunto de la flota de vehículos.

En cuanto a la metodología de obtención de información sobre aspectos operativos, energéticos, medioambientales y económicos, se consideran varias estrategias para recabar la información:

- **Datos con carácter estático**, que se recogen una sola vez (como las fichas de los vehículos y de la plantilla de personal o los costes indirectos).
- **Datos con carácter dinámico**, que se recogen a medida que se desarrollen las actividades (como los registros de las operaciones, del mantenimiento de los vehículos, de las incidencias que ocurran o los costes directos).

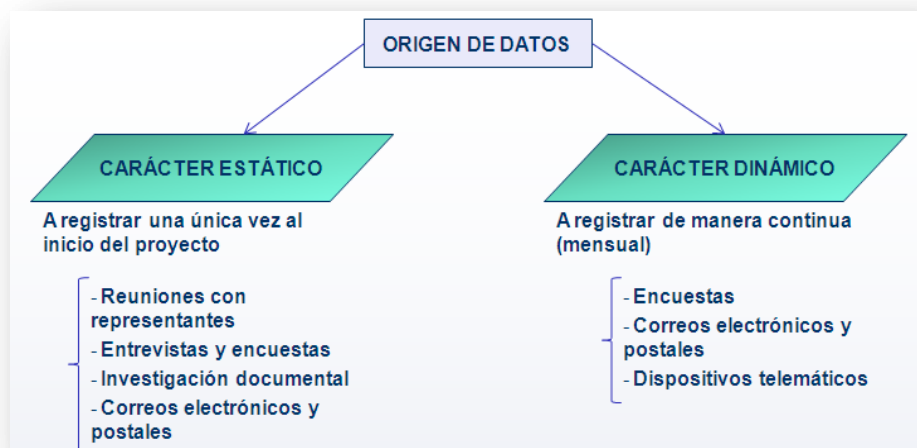


Fig 18. Origen de datos a recabar

1.3.2. Fase 2: Diagnóstico de la Situación Actual y Tendencial

Los objetivos de esta fase son:

- Análisis y Diagnóstico de la gestión de la flota de vehículos: dimensionado de la flota, rutas, localización de clientes, paradas, etc., control y formación de empleados, plan de renovación de vehículos, sistemas telemáticos de ayuda a la gestión, políticas de mantenimiento y gestión de combustible, etc.
- Elaboración de inventario energético y medioambiental de la situación actual y tendencial.

Para el análisis y diagnóstico pormenorizado de la situación actual y tendencial de la gestión de la flota de vehículos, se tratan todas las variables cualitativas y cuantitativas necesarias en la identificación de los aspectos críticos y de importancia para detectar las barreras y necesidades existentes en la optimización de la gestión de la flota de vehículos, que permitan, sobre su base, el diseño de propuesta de actuación acordes a la mejora de los problemas detectados. Para ello, se explota toda la información recabada en la fase anterior sobre características de las zonas, rutas de vehículos, localización de clientes o paradas, dependiendo del tipo de flota de vehículos que se esté analizando, parque de vehículos de la flota, etc.

A continuación, se detalla el análisis y la explotación a realizar a partir de la información recabada en la fase 1 de trabajos previos de información y toma de datos. A partir de dicho análisis, se agrupan los resultados obtenidos en cada sector, correlacionándolos para obtener un diagnóstico integral que englobe todos los aspectos considerados, permitiendo una visión global cuantificada sobre la gestión de la flota y su grado de sostenibilidad, evaluando la problemática y detectando su origen para su posterior mejora. Además se actualizan los indicadores definidos en esta segunda fase, así como una estimación tendencial de los mismos.

En primer lugar, el dimensionado de la flota de vehículos trata de analizar la composición de dicha flota, clasificándolo por modelos, marcas, antigüedad, potencia, etc.

El tamaño del parque móvil y las características de los vehículos que lo componen, deben adaptarse a la magnitud y características del volumen de operaciones a realizar, considerando criterios de eficiencia energética y medioambientales, es decir, analizar el grado de ajuste entre la oferta y la demanda de servicios.

De esta forma, se analiza por una parte la oferta de vehículos para prestar sus servicios, donde una de las principales características corresponde a la capacidad de transporte de los vehículos, y por otra parte la demanda de servicios, ya sea la población o conjunto de clientes distribuida por rutas y cobertura así como la cantidad de recursos demandados, ofreciendo una visión del grado de eficiencia en el uso de cada vehículo.

El punto óptimo de la flota es aquel que cuenta con el mínimo número de vehículos con las prestaciones mínimas exigibles para cumplir el servicio. El análisis en este sentido trata de conocer como está estructurado el parque móvil y las actividades realizadas por cada uno de los vehículos, para poder ver el grado de alejamiento del punto óptimo.

Un aspecto a resaltar sobre los modelos de los vehículos de la flota es la elaboración de una pirámide de edades, que no es más que una representación gráfica de la antigüedad de la flota. La pirámide de edades es una forma de tener una idea de la edad de la flota, que permite tomar la edad promedio de la misma y compararla con un valor recomendado, a partir del cual se puede revisar la estructura del parque móvil, así como la posibilidad de establecer una estrategia en materia de compra de nuevos vehículos, dando una visión a largo plazo.

En cuanto a la Localización de Elementos Característicos, se trata de realizar un análisis de la disposición actual de los elementos característicos del servicio que esté dando la flota de vehículos, como por ejemplo la localización de los clientes, las rutas a seguir... Estos parámetros son necesarios para medir la calidad del servicio ofrecida, y son indispensables para realizar una óptima distribución de los puntos que van a intervenir en la ruta de los vehículos, de manera que se aprovechen los recursos disponibles a su máximo rendimiento.

Para la localización y seguimiento de los vehículos de la flota a los cuales se les instalan los dispositivos GPS, se utiliza una herramienta software con la cual, el usuario puede controlar sus vehículos a tiempo real, de manera que una vez implantada es un apoyo a la toma de decisiones para localización y seguimiento de los vehículos de la flota que cuenten con dicho dispositivo. De esta forma se puede conocer la posición de cada vehículo, pudiendo dirigir al conductor de forma eficaz (recomendando rutas, informando de incidencias, etc.) o reasignando los recursos, así como garantizar el cumplimiento de horarios o incluso identificando conductores con pobres estilos de conducción.

Algunos de los beneficios que puede suponer el sistema de localización y seguimiento a emplear son:

- Reducción de costes de operación.
- Menor tiempo asignado a una misma tarea.
- Máximo aprovechamiento de los recursos actuales.
- Evitar el uso de los recursos para otros fines distintos de los estipulados.
- Se reduce la necesidad de invertir en más recursos tradicionales.
- Mayor utilización de las inversiones realizadas.
- Aumento de la productividad de los recursos humanos.
- Análisis de Rutas.

El proceso de diseño de las rutas presenta una alta complejidad, y tiene repercusión directa con los costes del uso de los vehículos, del combustible y del propio personal, así como el servicio ofrecido. Por tanto, es de especial relevancia analizar los métodos de planificación de las rutas existentes.

En la tabla siguiente se muestran los parámetros de análisis relativos a las rutas:

INFORMACIÓN	ANÁLISIS	FORMA DE PRESENTACIÓN
Rutas de clientes	Viario Urbano de cada localidad	Sentidos de circulación. Distancias. Acceso. Velocidades máximas de circulación. Factor de penalización de giros.
	Viario Interurbano	Distancias. Velocidades máximas de circulación.
	Rutas	Zonificación de las áreas de actuación. Tramos de acceso y salida de áreas de reparto. Coeficientes de sinuosidad de los recorridos. Mapeado con trayectos de las rutas y orden de los puntos del recorrido. Tiempos de recorrido por rutas. Asignación de vehículos y de conductores a las rutas. Horarios y frecuencias por rutas.

Tabla 1. *Análisis de la información relativa a las Rutas*

Con la gestión del combustible se pretende aprovechar al máximo cada litro de combustible, dada la gran importancia que supone en los costes de operación el gasto en combustible en los vehículos de la flota, que pueden suponer un porcentaje muy elevado de los gastos totales.

El objetivo es analizar y evaluar el método seguido para realizar el control y seguimiento del combustible desde su entrada a las instalaciones hasta su uso en la flota de vehículos, esto es, el Plan de Gestión de Combustible (PGC) que llevan a cabo, que es evaluado en base a la toma de datos de la fase 1. Cabe resaltar que para realizar el análisis, se realiza un seguimiento pormenorizado de los vehículos a los cuales se les instale el dispositivo de seguimiento vía GPS, cuyos datos son monitorizados.

El PGC debe cubrir un amplio abanico de funciones, que son objeto de análisis y diagnóstico, y que incluye, entre otras, las funciones que se indican a continuación:

Selección

La primera de las funciones del PGC es identificar el combustible empleado por cada vehículo de la flota, que es consecuencia directa del tipo de vehículo, y más concretamente de su tipo de combustible, ya sea convencional (gasolina, diesel) o alternativo (GNC, GLP o autogás, etc.).

Se hace necesario, por tanto, un análisis comparativo entre los distintos vehículos de la flota, con el objetivo de seleccionar aquellos combustibles, fundamentalmente alternativos más sostenibles con el medio ambiente, que mejoren el rendimiento de la flota, reduciendo los gastos de combustible y las emisiones contaminantes.

Compra

La modalidad de compra del combustible es una de las funciones de análisis, donde se identifica la opción elegida actualmente para realizar la compra de combustible:

- método de compra en el mercado.
- uso de tarjetas de combustible.
- negociación con estación de servicio.
- etc.

Almacenamiento de combustible

Se analiza la gestión de los tanques o depósitos de combustible propios y la posibilidad de reemplazar los mismos. El disponer de tanques propios acarrea una serie de ventajas, como la facilidad de control de repostaje, que es más sencillo y eficaz.

Se identifica la capacidad actual de los tanques de combustibles, y se analiza la capacidad óptima para realizar el suministro a la flota de vehículos, incluyendo la posible planificación de adquisición de vehículos que aumente el número de vehículos, todo ello con el objetivo de diagnosticar la flexibilidad de reabastecimiento y capacidad de suministro.

Control de uso

El sistema de control es uno de los aspectos más relevantes, donde se analiza, si hubiese implantado, el sistema de control mediante indicadores de rendimiento, ya sea mediante control individualizado de cada vehículo o sobre el total de la flota.

Otro aspecto a analizar es la asignación de rutas a vehículos, se tiene en cuenta el rendimiento de consumo de combustible de los mismos, interacción que en la mayoría de los casos no suele tenerse en cuenta, y que implica un aumento apreciable en el rendimiento global de las operaciones de la flota.

De esta forma se analiza cada una de las funciones que cubre el Plan de Gestión de Combustible.

En la tabla siguiente se muestra la forma de presentación para analizar la gestión de combustible.

INFORMACIÓN	ANÁLISIS	FORMA DE PRESENTACIÓN
Programa de Gestión de Combustible	Selección	<p>Porcentaje de uso de cada tipo de combustible empleado en la flota.</p> <p>Distribución de vehículos por tipología de combustible.</p> <p>Identificación de elementos aerodinámicos presentes en los vehículos.</p>
	Compra	Análisis del sistema de adquisición de combustible.
	Almacenamiento	<p>Identificar tanques o depósitos de almacenamiento de combustible. Posibilidad de renovación.</p> <p>Política de reabastecimiento de tanques: porcentaje de vaciado para reabastecimiento.</p>
	Control de uso	<p>Diagnóstico de metodología actual de toma de información.</p> <p>Identificar fuentes de errores en mediciones actuales.</p> <p>Análisis de control de combustible existente en base a indicadores.</p> <p>Representación de consumo de combustible por vehículo y por conductor en aquellos vehículos donde se realice seguimiento por GPS.</p> <p>Informes de consumo de combustible por vehículo, grupo de vehículos, conductores, rutas.</p> <p>Informes de excepciones y consumos anómalos.</p> <p>Detectar principales factores que afectan al consumo.</p>

Tabla 2. *Análisis de la información relativa al Dimensionado de la Flota*

Paralelamente al análisis de cada vehículo o conductor individual, se realizan informes comparativos de los indicadores recabados en los vehículos donde se instalen los dispositivos de seguimiento.

A su vez, se realiza una división de la flota en grupos con características similares para comparar (tipo de vehículo, zona de ejecución del servicio, etc.), pudiendo definir en cada caso unos valores umbrales óptimos de consumo a alcanzar, que sirvan de base comparativa para analizar la evolución constante en los vehículos y conductores.

Algunos de los informes que se emplean de ayuda para el análisis son:

- Análisis mensuales detallados.
- Informe de excepciones, donde se indican las desviaciones anómalas sobre los objetivos de consumo marcados.
- Informe de resumen por grupos de vehículos.
- Informe de resumen por conductores.

En cuanto a la Gestión de Mantenimiento y Renovación de Vehículos, el mantenimiento de una flota de vehículos consiste en proporcionar a los vehículos reparaciones y mano de obra por parte de personal de taller, con el fin de que esté siempre en su nivel máximo de operación mecánica, es decir, máxima disponibilidad a mínimo coste, de ahí que sea fundamental analizar la gestión de mantenimiento, ya que con un Plan de Mantenimiento óptimo, por un lado los costes de operación se reducen, y por otro lado los vehículos de la flota operan en unas mejores condiciones, por lo que conlleva un ahorro energético y una reducción de las emisiones contaminantes. A esto hay que añadir la interacción con la Política de Renovación de Vehículos, que va íntimamente ligada a la gestión del mantenimiento, donde se analiza la metodología seguida en dicha renovación, así como identificar la posibilidad de renovación de la flota por vehículos más eficientes (eléctricos, híbridos, GNC, etc.) en función de las características técnicas y de explotación de los vehículos individuales.

Las ventajas que se obtienen con una buena planificación de mantenimiento son:

- Reducción de averías.
- Reducción de costes.
- Operación de forma eficiente de los vehículos en circulación.
- Reducción de accidentes.
- Reducción de consumo de combustible.
- Aumento del ciclo de vida de los vehículos.

Las líneas de trabajo principales del Plan de Mantenimiento son la planificación y el control exhaustivo de las operaciones de mantenimiento asociadas y los costes de tales operaciones. Se hace especial hincapié sobre el mantenimiento preventivo, siendo dicho mantenimiento una estrategia proactiva de cuidado de los vehículos a largo plazo, mediante el chequeo y la sustitución de sus elementos a cierto kilometraje o períodos determinados.

En la tabla siguiente se muestra la forma de presentación para analizar la gestión de mantenimiento:

INFORMACIÓN	ANÁLISIS	FORMA DE PRESENTACIÓN
Gestión de Mantenimiento	Taller	Organización del trabajo. Eficiencia del taller.
	Mantenimiento de vehículos	Control y frecuencia del reabastecimiento (aceite, etc.). Control e intervalos regulares de conservación periódica. Características del sistema de mantenimiento preventivo y predictivo. Tiempos de permanencia en taller debidos a operaciones de mantenimiento de vehículos. Análisis del seguimiento de los neumáticos de los vehículos (cambios, alineación, control de presión).
	Averías	Tiempos de permanencia en taller debidos a reparaciones. Clasificación en base a tipos de averías (menores, mayores).
	Renovación de vehículos	Política de renovación de los vehículos. Edad media de renovación de los vehículos de la flota. Tipología de vehículos nuevos (eléctricos, híbridos, gas natural, etc.).

Tabla 3. *Análisis de la información relativa a la Gestión de Mantenimiento*

El Plan de Formación para los empleados es otro de los aspectos de análisis, especialmente en lo referente a los conductores, ya que pueden conseguir un gran impacto en ahorro en el consumo de combustible, reducción de emisiones contaminantes y mejora de seguridad. El análisis de la formación de los conductores se subdivide en dos vertientes:

- Programa de conducción eficiente y segura.
- Programa de gestión del mantenimiento de sus vehículos.

La figura muestra una gama de estrategias que se pueden utilizar para desarrollar y reforzar las técnicas de conducción eficiente con referencia al ahorro de consumo de combustible.

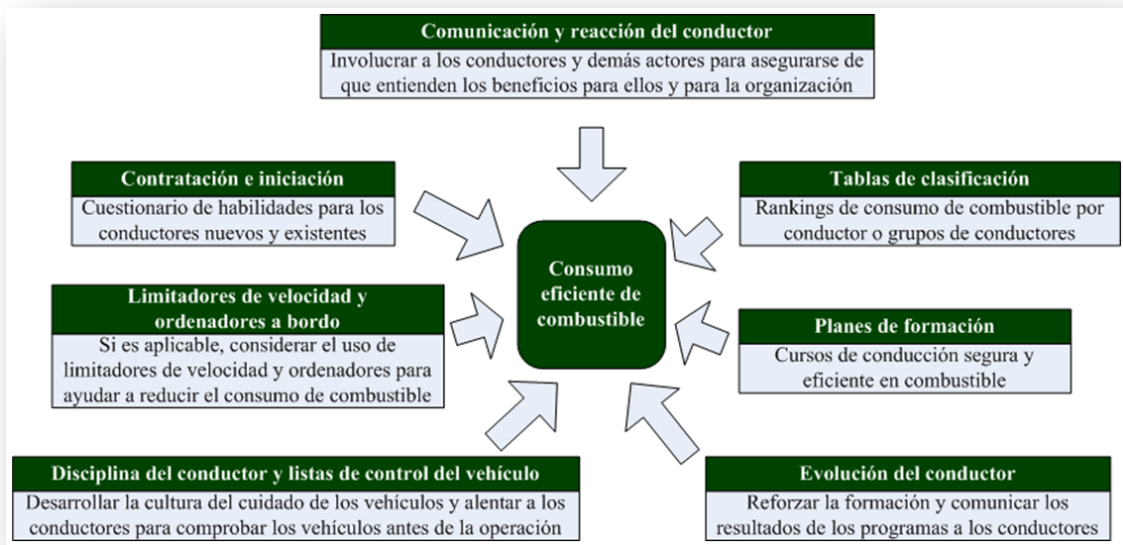


Fig 19. Estrategias con los conductores para consumo eficiente

En la tabla siguiente se muestra la forma de presentación para analizar la formación de empleados:

INFORMACIÓN	ANÁLISIS	FORMA DE PRESENTACIÓN
Formación de Empleados	Conducción Eficiente y Segura	Programación de planes de formación en conducción eficiente y segura. Estrategia de concienciación hacia empleados. Control evolución de conductores. Tablas de clasificación.
	Chequeos de vehículos	Identificación de metodología de chequeo diario de vehículos. Forma de notificación de anomalías y averías. Identificación de contenidos en hojas de chequeo y revisión.

Tabla 4. Análisis de la información relativa a la Formación de Empleados

Respecto al Inventario Energético y Medioambiental, se evalúa el impacto energético y medioambiental provocado por la flota de vehículos. Esta evaluación consiste en:

- Estimación del consumo energético como consecuencia de los desplazamientos de la flota de vehículos, fundamentalmente en litros totales de combustible.
- Estimación de contaminantes, que se limitan exclusivamente al cálculo de las emisiones de CO₂.

Como se ha comentado anteriormente, las Auditorías Energéticas de Flotas de Transporte carecen de una metodología compleja y con procedimientos de cálculo exhaustivos en relación a consumo energético y emisiones contaminantes, por lo que el presente proyecto fin de carrera desarrolla una metodología detallada de Inventarios Energéticos y Medio Ambientales en Flotas de Transporte, que permita integrarse en la realización de Auditorías Energéticas de Flotas, y a su vez, dar un paso más allá y conseguir procedimientos que permitan evaluar el impacto de actuaciones en la flota en referencia al descenso o aumento de consumo de combustible y emisiones contaminantes.

1.3.3. Fase 3: Propuestas de un Plan de Actuaciones

Los objetivos de esta tercera fase son:

- Consecución de los objetivos específicos que se pretenden alcanzar con la gestión eficiente de flotas gracias a la puesta en marcha de las propuestas de actuación.
- Diseño de Medidas de mejora de eficiencia energética, ahorro de combustible y calidad medioambiental en la gestión de la flota de vehículos a corto, medio y largo plazo, de acuerdo a los objetivos específicos fijados.
- Sistema de Seguimiento y Evaluación basado en indicadores.
- Diseño y Evaluación Económica, Energética, Medioambiental y Social de Escenarios.
- Diseño de medidas de actuación.

Una vez definidos los objetivos específicos que se pretenden alcanzar con las medidas propuestas en la consecución de una gestión eficiente y sostenible en flotas de vehículos, se diseñan, caracterizan y evalúan en esta etapa las medidas cuya puesta en marcha conducen a la consecución de dichos objetivos.

Cada una de las medidas debe ser factible y se debe adaptar a las necesidades reales en base a los problemas detectados en el análisis y diagnóstico. Sólo adaptándose a la realidad y a la problemática que se intenta solucionar, las medidas pueden ser verdaderamente útiles, y a la vez, permiten una mejora de la eficiencia energética, ahorro de combustible y calidad medioambiental.

Para cada Medida se redacta un documento detallado que incluye el desarrollo pormenorizado de la misma, es decir, cada medida estará compuesta por:

- Descripción de la medida:
 - Factores de influencia.
 - Criterios de éxito.
 - Posibles barreras.
- Agentes implicados.
- Recursos necesarios (ejecución y mantenimiento).
- Etapas de Implementación (cronograma).
- Plazos de Implantación: corto, medio, largo.
- Estudio de Viabilidad técnica, económica (costes e ingresos) y análisis de aspectos operativos, temporales, energéticos (ahorro combustible) y medioambientales (emisiones contaminantes, ocupación de espacio, degradación espacio circundante).
- Mecanismos de gestión y coordinación.

Cabe destacar que para cada una de las medidas de actuación diseñadas, así como para el conjunto de ellas, se debe estimar la mejora ambiental (reducción de CO₂) y energética (ahorro en litros de combustible) que supone para la flota de vehículos, mediante un balance aplicado entre la situación inicial cuantificada en la fase de

diagnóstico y la situación futura previsible con la puesta en marcha de las medidas de actuación, si bien, hay una carencia respecto a dichas metodologías, por lo que en el presente proyecto fin de carrera se va a incidir en el desarrollo de metodologías que permitan cuantificar estos ahorros energéticos y medio ambientales completos por la implantación de medidas de actuación consideradas en las Auditorías Energéticas de Flotas, por lo que será necesario realizar una biblioteca de medidas de mejoras de base para la aplicación de las metodologías a diseñar.

A continuación se presentan los ámbitos de actuación en los que se elaboran medidas de mejora.

- **Localización de Puntos de Visita:** Con esta medida se pretende definir una estrategia de localización de los puntos incluidos en la ruta, los cuales hay que visitar. Dicha estrategia está orientada para flotas de transporte donde la población interviene de forma activa en la definición y en la ubicación de los puntos que se deben visitar, ya que cuando la ruta está orientada a la visita de clientes este paso está definido mediante la ubicación de los establecimientos de los clientes.
- **Rutas:** La medida contemplará, tras el análisis de las rutas actuales, una propuesta de optimización de las rutas que responda a las necesidades funcionales detectadas, proponiendo una reducción de la longitud recorrida.
- **Programa de Formación en Conducción Eficiente y Segura:** Con esta medida se pretende definir un programa periódico de formación en conducción eficiente y segura que muestre las técnicas principales en materia de ahorro de combustible en la conducción, así como indicar la importancia de los chequeos previos a la conducción para lograr un estado óptimo del vehículo en circulación.
- **Programa de Gestión de Combustible:** Los costes asociados al combustible son uno de los más importantes en el transporte, por lo que merecen una especial atención en cuanto al control del mismo a través de un programa establecido de gestión del combustible, basado en la detección de los factores que más influyen en el consumo y actuar de forma eficiente.
- **Plan de Mantenimiento:** El mantenimiento del parque vehicular consiste en proporcionar a los vehículos reparaciones, recambios y mano de obra por parte de personal de taller, con el fin de que esté siempre en su nivel máximo de operación mecánica. Por tanto, la medida contempla la optimización de un plan de mantenimiento que proporcione las pautas a seguir para un correcto control y seguimiento que permita aumentar la disponibilidad de los vehículos con el menor coste posible.
- **Sistema de Gestión de Costes:** La medida contempla la optimización del sistema de gestión de costes, incorporando todos los gastos asociados tanto de manera directa, como de manera indirecta al servicio.
- **Incorporación de Biocarburantes:** La medida incluye un análisis de la posibilidad de introducir biocarburantes en la flota. Si es necesario, se analiza el tipo de biocarburantes a emplear, su mezcla óptima y la posibilidad de implantar tanques propios.

- **Incorporación de Inductores Magnéticos:** La medida contempla la introducción de elementos como complemento del motor de los vehículos, que disminuyan el impacto energético y medioambiental mediante un incremento del rendimiento del mismo.
- **Plan de Renovación de la Flota de Vehículos:** Con el Plan de Renovación se pretende modernizar la flota hacia vehículos más sostenibles y eficientes, de manera que se reduzcan los costes asociados a mantenimiento y averías.

La elaboración de las medidas involucra realizar una evaluación de las mismas desde la perspectiva económica, energética y medioambiental. A continuación, se muestran los mecanismos de dicha evaluación de las medidas:

- **Económica:** mediante la consideración de los costes e ingresos, incluidos incentivos, que requeriría la implantación de la medida, se evalúa el indicador de cantidad de dinero ahorrada por cantidad de dinero invertida que refleja la rentabilidad económica de la medida.
- **Energética:** ahorro de energía que supondría en la movilidad de la flota de vehículos la implantación de la medida. Se evalúa a partir de la movilidad de la flota como consecuencia de la implantación de la medida y el escenario que conlleva, que actualmente se limita a litros de combustible.
- **Medioambiental:** ahorro de emisiones que supondría la implantación de la medida. Se evalúa a partir de la movilidad de la flota de vehículos como consecuencia de la implantación de la medida y el escenario que conlleva, que actualmente se limita a emisiones globales de CO₂.
- Otro aspecto que marca la viabilidad de las medidas propuestas es la definición de la Estrategia que marca la puesta en marcha de la misma en la flota de vehículos. El objetivo es fijar una estrategia de actuación para la puesta en funcionamiento de las medidas diseñadas. Se siguen los siguientes criterios para determinarla:
 - *Ahorro energético y medioambiental:* litros de combustible ahorrados y emisiones de CO₂.
 - *Priorización de objetivos:* tendrán mayor prioridad aquellas medidas cuya puesta en marcha conduzca a alcanzar los objetivos específicos y generales preferentes por parte de la empresa que gestione la flota de vehículos.
 - *Recursos disponibles:* los medios necesarios para poder implantar las medidas diseñadas también serán un factor muy importante a tener en cuenta. A mayores medios disponibles más posibilidades de implementar las medidas y más objetivos se podrán cumplir.
 - *Problemas más relevantes:* si de la diagnosis de la situación actual y tendencial (Fase 2) se determinan que hay ciertos problemas críticos en la gestión de la flota de vehículos, o problemas cuyas consecuencias son más graves, serán las medidas enfocadas a solventar dichos problemas las que deban ser las primeras en ser puestas en funcionamiento.
 - *Equilibrio social:* el proyecto para la gestión eficiente y sostenible de la flota de vehículo se elabora con el consenso entre todos los grupos de trabajo. Por ello aquellas medidas que impliquen un mayor consenso para ser ejecutados podrán ser los primeros en ser llevados a la práctica.

1.4. Normativas

Se han identificado y analizado los principales requerimientos normativos que afectan a la gestión de flotas, incluyendo aspectos tales como los de tráfico, transporte, urbanismo, ordenación del territorio, ahorro y eficiencia energética, calidad medioambiental, ruido y cambio climático.

DIRECTIVAS Y REGLAMENTOS EUROPEOS

1. DIRECTIVA 2009/28/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.
2. DIRECTIVA 2005/55/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 28 de septiembre de 2005, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre las medidas que deben adoptarse contra la emisión de gases y partículas contaminantes procedentes de motores de encendido por compresión destinados a la propulsión de vehículos, y contra la emisión de gases contaminantes procedentes de motores de encendido por chispa alimentados con gas natural o gas licuado del petróleo destinados a la propulsión de vehículos.
3. DIRECTIVA 2002/49/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.
4. DIRECTIVA 1999/62/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 17 de junio de 1999 relativa a la aplicación de gravámenes a los vehículos pesados de transporte de mercancías por la utilización de determinadas infraestructuras.
5. DIRECTIVA 1999/94/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 13 de diciembre de 1999 relativa a la información sobre el consumo de combustible y sobre las emisiones de CO₂ facilitada al consumidor al comercializar turismos nuevos.
6. DIRECTIVA 96/53/CE DEL CONSEJO de 25 de julio de 1996 por la que se establecen, para determinados vehículos de carretera que circulan en la Comunidad, las dimensiones máximas autorizadas en el tráfico nacional e internacional y los pesos máximos autorizados en el tráfico internacional.
7. DIRECTIVA 70/220/CE DEL CONSEJO de 20 de marzo de 1970, relativa a la aproximación de las legislaciones de los estados miembros en materia de medidas que deben adoptarse contra la contaminación del aire causada por los gases procedentes de los motores de explosión con los que están equipados los vehículos a motor.
8. DIRECTIVA 80/1268/CEE DEL CONSEJO de 16 de diciembre de 1980, relativa a las emisiones de dióxido de carbono y al consumo de combustible de los vehículos de motor.
9. REGLAMENTO (CE) N° 595/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 18 de junio de 2009 relativo a la homologación de los vehículos de motor y los motores en lo concerniente a las emisiones de los vehículos pesados (Euro VI) y al acceso a la información sobre reparación y

mantenimiento de vehículos y por el que se modifica el Reglamento (CE) nº 715/2007 y la Directiva 2007/46/CE y se derogan las Directivas 80/1269/CEE, 2005/55/CE y 2005/78/CE.

10. REGLAMENTO (CE) Nº 692/2008 DE LA COMISIÓN de 18 de julio de 2008 por el que se aplica y modifica el Reglamento (CE) nº 715/2007 del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6) y sobre el acceso a la información relativa a la reparación y el mantenimiento de los vehículos.
11. REGLAMENTO (CE) Nº 1360/2002 DE LA COMISIÓN de 13 de junio de 2002 por el que se adapta por séptima vez al progreso técnico el Reglamento (CEE) nº 3821/85 del Consejo relativo al aparato de control en el sector de los transportes por carretera.
12. REGLAMENTO (CE) Nº 561/2006 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 15 de marzo de 2006 relativo a la armonización de determinadas disposiciones en materia social en el sector de los transportes por carretera por el que se deroga el Reglamento (CEE) nº 3820/85 del Consejo.
13. REGLAMENTO (CE) Nº 1222/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de noviembre de 2009 sobre el etiquetado de los neumáticos en relación con la eficiencia en términos de consumo de carburante y otros parámetros esenciales.
14. REGLAMENTO (CE) Nº 228/2011 DE LA COMISIÓN de 7 de marzo de 2011 por el que se modifica el Reglamento (CE) Nº 1222/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los métodos de ensayo de la adherencia en superficie mojada para los neumáticos C1.
15. REGLAMENTO Nº 83 DE LA COMISIÓN ECONÓMICA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EUROPA (CEPE) – Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos por lo que respecta a la emisión de contaminantes según las necesidades del motor en materia de combustible.
16. REGLAMENTO Nº 101 DE LA COMISIÓN ECONÓMICA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EUROPA (CEPE) - Disposiciones uniformes relativas a la homologación, por una parte, de vehículos de pasajeros impulsados únicamente por un motor de combustión interna o por una cadena de tracción eléctrica híbrida, respecto a la medición de la emisión de dióxido de carbono y el consumo de carburante o bien del consumo de energía eléctrica y la autonomía eléctrica y, por otra, de vehículos de las categorías M1 y N1 impulsados únicamente por una cadena de tracción eléctrica, respecto a la medición del consumo de energía eléctrica y la autonomía eléctrica.
17. Propuesta de REGLAMENTO DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO COM (2009) 593 por el que se establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de los vehículos industriales ligeros nuevos como parte del enfoque integrado de la Comunidad para reducir las emisiones de CO₂ de los vehículos ligeros.
18. Propuesta de DIRECTIVA DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO COM (2010) 508 relativa al nivel sonoro admisible y el dispositivo de escape de los vehículos a motor.

LEYES, ÓRDENES Y REALES DECRETOS ESPAÑOLES

19. LEY 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
20. LEY 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido.
21. ORDEN ITC/2877/2008, de 9 de octubre, por la que se establece un mecanismo de fomento del uso de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio).
22. ORDEN PRE/29/2004, de 15 de enero, por la que se modifica el Anexo III del Real Decreto 837/2002, de 2 de agosto, por el que se regula la información relativa al consumo de combustible y a las emisiones de CO₂ de los turismos nuevos que se pongan a la venta o se ofrezcan en arrendamiento financiero en territorio español.
23. REAL DECRETO 47/2007, de 19 de enero, por el que se establece el procedimiento de certificación de eficiencia energética de edificios.
24. REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
25. REAL DECRETO 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
26. REAL DECRETO 957/2002, de 13 de septiembre, por el que se regulan las inspecciones técnicas en carretera de los vehículos industriales que circulan en territorio español.
27. REAL DECRETO 837/2002, de 2 de agosto, por el que se regula la información relativa al consumo de combustible y a las emisiones de CO₂ de los turismos nuevos que se pongan a la venta o se ofrezcan en arrendamiento financiero en territorio español.
28. REAL DECRETO 2822/1998, de 23 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Vehículos.
29. REAL DECRETO 2042/1994, de 14 de octubre, por el que se regula la inspección técnica de vehículos.

LEYES, ÓRDENES Y DECRETOS AUTONÓMICOS O LOCALES

30. LEY 2/2007, de 27 de marzo, de fomento de las energías renovables y del ahorro y eficiencia energética de Andalucía.
31. DECRETO 169/2011, de 31 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de fomento de las energías renovables y del ahorro y eficiencia energética en Andalucía.

ESTRATEGIAS Y POLÍTICAS

32. ESTRATEGIA DE AHORRO Y EFICIENCIA EN ESPAÑA 2004-2012 (E4), Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
33. ESTRATEGIA ESPAÑOLA DE MOVILIDAD SOSTENIBLE, Ministerio de Fomento y Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
34. ESTRATEGIA EUROPEA SOBRE VEHÍCULOS LIMPIOS Y ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES COM (2010)186.
35. PLAN DE ACCIÓN DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA 2011-2020, 2º Plan de Acción Nacional de Eficiencia Energética de España (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio).
36. PLAN DE MEDIDAS URGENTES DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA 2011, de 4 de marzo de 2011 (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio).
37. LIBRO BLANCO. La política Europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad. Comisión Europea.
38. LIBRO VERDE de Medio Ambiente Urbano.

NORMAS ISO, EN Y UNE

39. Norma UNE 216501: 2009, Auditorías Energéticas. Requisitos.
40. Norma UNE-EN ISO 50001: 2011. Sistemas de Gestión de la Energía. Requisitos con orientación para su uso.
41. Norma UNE-EN ISO 14000: 2004. Sistemas de Gestión Ambiental. Requisitos con orientación para su uso.
42. Norma UNE-EN ISO 9000: 2008/AC 2009. Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos.

Con relación a estos requerimientos normativos, se puede concluir que no existe ninguna normativa que regule la estandarización de las Auditorías Energéticas de Flotas de Transporte, así como no existe ninguna normativa más específica que regule el cálculo de Inventarios Energéticos y Medio Ambientales en Flotas de Transporte, por lo que hay una carencia de regulación al respecto, y se hace necesario definir la aplicación de estándares y modelos en el cálculo de consumos y emisiones en vehículos de flotas de transporte.

2.OBJETIVOS

El objetivo principal de este Proyecto Fin de Carrera es el **diseño y desarrollo de una metodología que permita la estimación del consumo energético y las emisiones contaminantes** en flotas de transporte por carretera.

La metodología debe permitir la estimación de Inventarios Energéticos y Medioambientales completos y fiables, de manera que puedan incorporarse como parte fundamental de los proyectos de Auditorías Energéticas de Flotas, aportando un valor añadido adicional a las mismas, ya que la metodología va a enfocarse a todas las posibles fuentes de emisiones contaminantes procedentes del tráfico, incluyendo a su vez temas energéticos:

- **Consumo energético**, considerando todos los posibles tipos de combustible (gasolina, diesel, gas natural, autogás, biocarburantes, vehículos eléctricos e híbridos, hidrógeno o pila de combustible).
- **Emisiones de gases de efecto invernadero**, considerando no sólo las emisiones de CO₂, sino también las emisiones de CH₄.
- **Emisiones contaminantes primarias**, considerando un amplio abanico de sustancias contaminantes, tales como CO, COV, NO_x, PM y metales.

Como objetivos parciales para cada tipología de contaminantes a la hora del desarrollo de la metodología de estimación, se pueden destacar los siguientes aspectos:

- 1- **Consumo energético:** En este primer paso, el objetivo será crear una metodología para estimar, a partir de las condiciones de operación de la flota de vehículos de transporte por carretera y la adaptación de modelos, el consumo de combustible de dichos vehículos.
- 2- **Emisiones de gases de efecto invernadero y emisiones contaminantes primarias:** En este caso el objetivo será la adaptación de modelos de estimación de sustancias contaminantes derivadas de los vehículos motorizados a las flotas de transporte por carretera, incluyendo los principales gases responsables del calentamiento global así como los gases responsables de la contaminación a nivel local.

Además, los resultados deben mostrarse de manera desagregada por tipo de contaminante y tipo de vehículo, así como de manera agregada para el total de vehículos y operaciones de la flota de vehículos. Así, la metodología se adaptará tanto para el análisis global como para el análisis particular.

En este último sentido, se dará un paso adicional, de forma que el objetivo más ambicioso del Proyecto Fin de Carrera será el de adaptar la metodología de inventarios energéticos y medioambiental para conseguir **diseñar y desarrollar una metodología de estimación del impacto energético y medioambiental como consecuencia de la implantación de medidas de mejora**, que sirva de ayuda a la toma de decisiones a los gestores de flotas.

Como objetivos parciales en la estimación del impacto de la puesta en marcha de medidas de mejora se deberán abordar los siguientes aspectos:

- 1- Biblioteca de medidas de mejora:** El primer paso será la definición de una batería de actuaciones y estrategias de mejora caracterizadas que se conformen en una biblioteca de actuaciones.
- 2- Modelos de estimación:** El objetivo parcial crucial será el diseño de un modelo que adapte la metodología de Inventarios Energéticos y Medioambientales a cada una de las posibles medidas de actuación incorporadas en la biblioteca de medidas de mejora.
- 3- Evaluación y seguimiento:** Será necesario el diseño de un sistema basado en indicadores integrales que permita un correcto seguimiento una vez implantadas las medidas de mejora, que permitan cuantificar e identificar posibles desviaciones respecto a la situación futura prevista estimada previamente.

La metodología desarrollada, tanto para la estimación de Inventarios Energéticos y Medioambientales como para la estimación del Impacto de la Implantación de Medidas de Mejora, será **aplicada a una flota de vehículos reales**, lo que permitirá validar y evaluar la metodología diseñada. En concreto, se aplicará a la flota de vehículos de recogida de residuos sólidos urbanos pertenecientes a la Mancomunidad Los Alcores que presta servicios de recogida selectiva (residuos de envases y papel y cartón) y de recogida no selectiva (residuos orgánicos) en el municipio de Alcalá de Guadaíra.

Un objetivo adicional será la **concreción de la metodología desarrollada en una herramienta** de fácil uso y sencilla de asimilar por parte de los gestores de flotas, que permitir brindar un apoyo en cuanto al desarrollo de Inventarios Energéticos y Medioambientales en las flotas de vehículos de transporte por carretera. Además, la herramienta tratará de automatizar lo máximo posible el proceso de creación de los inventarios y los procesos individuales de estimación del impacto de actuaciones.

Por otro lado, los pasos que se van a seguir para lograr los objetivos planteados anteriormente son los siguientes:

1. INTRODUCCIÓN

Introducción a la problemática energética y medioambiental existente en las flotas de transporte por carretera. Se hace una breve introducción del estado actual del sector transporte y se concreta en el impacto ambiental derivado de las operaciones de las flotas de transporte por carretera.

Posteriormente, se incluye una revisión de la situación actual en cuanto al desarrollo de Auditorías Energéticas de Flotas, evaluando el cálculo de Inventarios Energéticos y Medioambientales empleados, que básicamente se dedican a calcular los litros de combustible consumidos y una estimación a alto nivel del CO₂ emitido, sin entrar en detalles ni incorporar otros tipos de contaminantes. Por último, se realiza una revisión de las normativas existentes que atañen a las flotas de vehículos de transporte por carretera.

2. OBJETIVOS

Se habla de los objetivos perseguidos en el proyecto y la forma de abordarlos, que es el apartado que nos ocupa.

3. ESTADO DEL ARTE

En una primera instancia se realiza una revisión de la literatura, que constituye un paso ineludible para realizar una investigación empírica sobre los temas de estudio.

Se ha procedido a realizar un análisis de la literatura existente sobre metodologías y modelos para la estimación de consumos energéticos y estimación de emisiones contaminantes, incluyendo gases de efecto invernadero y emisiones contaminantes primarias. Para lograr este objetivo, se han consultado bases de datos electrónicas donde se recoge la literatura ya publicada, como textos de revistas científicas.

Además, se ha realizado una revisión bibliográfica sobre las buenas prácticas en cuanto a la gestión de flotas, identificando y clasificando en ámbitos de actuación las diferentes medidas de actuación derivadas de las Auditorías de Flotas.

4. DISEÑO DE LA METODOLOGÍA

Describe con detalle la metodología diseñada en el proyecto para lograr el objetivo propuesto de desarrollar métodos de estimación del consumo energético y emisiones contaminantes en flotas de transporte por carretera.

El primer punto del capítulo describe el procedimiento de cálculo del Inventario Energético y Medioambiental de la flota de vehículos, a partir de una exhaustiva toma de datos y análisis de información que permitan su posterior aplicación directa para los modelos de estimación de consumos y emisiones contaminantes.

Posteriormente se describe el procedimiento de estimación del impacto energético y medioambiental por la implantación de medidas de mejora, desde la selección de las medidas de actuación concretas, hasta el método de estimación del impacto de cada una de ellas.

Por último, se describe un sistema completo de seguimiento de actuaciones en base a una serie de indicadores clave de rendimiento.

5. APLICACIÓN Y VALIDACIÓN

Se aplicarán los distintos modelos desarrollados y la metodología diseñada a una flota de vehículos real, donde los datos de partida son aportados por la Auditoría Energética realizada a la flota de vehículos de recogida de residuos sólidos urbanos de la Mancomunidad Los Alcores de la provincia de Sevilla.

6. CONCLUSIONES Y EXTENSIONES

Por último se elaboran conclusiones a partir de los resultados obtenidos y se proponen futuras líneas de investigación.

7. BIBLIOGRAFÍA

En la bibliografía se enumeran los libros, artículos y revistas que se han utilizado para elaborar el proyecto.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1. Modelos de Consumo Energético

3.1.1. Introducción

El objetivo principal de este punto es el análisis de las metodologías existentes para la estimación del consumo energético de vehículos, y a partir de ellos evaluar y determinar qué modelo se adecúa más a la gestión de flotas de transporte por carretera, permitiendo el desarrollo de un método particular para su aplicación práctica en las Auditorías Energéticas de Flotas.

La metodología llevada a cabo se basa en el diseño y desarrollo de modelos soporte para herramientas de estimación del consumo energético de los vehículos de flotas de transporte por carretera.

La metodología contiene métodos de estimación con un elevado nivel de detalle, donde se hace necesario un procesamiento previo de la información, necesitando características de los vehículos, las rutas seguidas por los mismos, conductores, históricos de consumos, etc.

Los modelos de estimación de consumo energético de los que se va a hablar son los siguientes:

- Modelos de consumo instantáneo de combustible.
- Modelos de consumo modal de combustible.
- Modelos de consumo de combustible basados en la velocidad media.

El primer paso para reducir el impacto medioambiental en el sector del transporte es predecir la cantidad de combustible consumido como paso previo para estimar los agentes contaminantes emitidos por los vehículos de motor. Por ello, se hace necesaria la definición de un modelo que permita establecer de manera cuantitativa la cantidad de combustible consumido por los vehículos.

3.1.2. Modelos de Consumo Instantáneo de Combustible

Los modelos de consumo instantáneo de combustible calculan el consumo de combustible basándose en medidas instantáneas de las variables explicativas.

En estos modelos, el consumo de combustible proviene de una relación entre las tasas de consumo de combustible y la energía instantánea del vehículo. Como ejemplos de variables explicativas se pueden incluir la velocidad del vehículo, las condiciones de tráfico, la energía del vehículo y las características del arcén.

Debido a la desagregación de los datos de consumo, estos modelos suelen implementarse para evaluar el impacto energético en proyectos individuales de transporte, tales como en cruces, puntos de peaje, secciones de la carretera, etc., es decir a nivel de micro simulación.

El más común de estos modelos de consumo utiliza la energía instantánea del vehículo como variable explicativa, basándose en el principio de conservación de la energía. El combustible consumido por un vehículo es una fuente de entrada de energía que se transforma en energía cinética para permitir el movimiento del vehículo y que se requiere para superar la energía interna que resulta de la fricción o de la resistencia. Estos modelos tratan de determinar qué proporción de la energía de entrada se requiere para superar la fricción a velocidad constante y la energía inercial necesaria para la aceleración del vehículo.

MODELO DE POST

El modelo original basado en la energía fue desarrollado por Post [POST1984]. La relación instantánea del consumo del combustible y la energía se expresa en la ecuación siguiente:

$$FC = \alpha + \beta P \rightarrow P > 0$$

$$FC = \alpha \rightarrow P \leq 0$$

Donde:

FC = Tasa de consumo instantáneo (ml/s).

α = Tasa de consumo pasivo (ml/s).

β = Factor de eficiencia medio (ml/s/kW).

P = Potencia instantánea total (kW).

Los coeficientes α y β varían para el estado y las condiciones de funcionamiento de cada vehículo.

El consumo nulo de potencia (α) está fuertemente relacionado con la capacidad del motor y se podría expresar como una función lineal de la capacidad del motor en vehículos de encendido por chispa.

El nivel de consumo de combustible por potencia generada (β) es una medida de la eficacia con la que el vehículo suministra energía adicional.

El modelo puede ser aplicado en cualquier situación de tráfico en carretera, donde se conozca la demanda instantánea de potencia.

La demanda instantánea de potencia es función de la masa del vehículo, de la fricción, de la velocidad, de la aceleración y de la pendiente de la camino.

THE AUSTRALIAN ROAD RESEARCH BOARD

The Australian Road Research Board extendió el modelo original basado en la energía para realizar estimaciones más exactas del consumo de combustible en diferentes modos de conducción basados en la velocidad del vehículo y en datos geométricos de la carretera [AKC1989]. La ecuación siguiente es la expresión general del modelo de consumo de combustible:

$$FC = \alpha + \beta_c P_c + \beta_a P_a$$

Donde:

α = Tasa de consumo pasivo.

β_c, β_a = Parámetros de eficiencia relacionados con la aceleración y la velocidad constante en la conducción.

P_c = Potencia total de rozamiento en conducción a velocidad constante.

P_a = Potencia total de rozamiento debido a la inercia.

De forma distinta al modelo original, este modelo predice el consumo de combustible para distintos modos de conducción, aplicando diversos parámetros de eficiencia para mejorar la inexactitud del uso de un factor de eficiencia medio para todas las formas de conducción.

MODELO DE BOWYER

El modelo de consumo instantáneo desarrollado por Bowyer [BOW1985] usa características de los vehículos tales como la masa, energía, parámetros de eficiencia, potencia y otros componentes de consumo asociados con la resistencia aerodinámica y la resistencia de rodadura y realiza la estimación de consumo por segundos.

El modelo asume cambios en los niveles de aceleración y desaceleración que ocurren en intervalos de un segundo, tomando la siguiente forma el modelo:

$$f_t = \begin{cases} \alpha + \beta_1 R_t v + \left(\frac{\beta_2 M a^2 v}{1000} \right) & \text{para } R_t > 0 \\ \alpha & \text{para } R_t \leq 0 \end{cases}$$

Donde:

f_t = Consumo de combustible por unidad de tiempo (mL/s).

α = Tasa de consumo pasivo (ml/s, típicamente entre 0,375 y 0,556).

R_t = Fuerza de tracción necesaria para mover el vehículo (kN, kilo newton).

v = Velocidad de circulación (m/s).

M = Peso del vehículo (kg).

a = Aceleración instantánea (m/s²).

β_1 = Parámetro de consumo de combustible por unidad de energía (mL/kJ, típicamente entre 0,09 y 0,08).

β_2 = Parámetro de consumo de combustible por unidad de energía en aceleración (mL/ (kJm/s²), típicamente entre 0,03 y 0,02).

Usando la expresión anterior para cada instante de tiempo, se podría calcular el consumo total de combustible para una jornada del vehículo, f_t , mediante la siguiente expresión:

$$F_t = \int_0^{t_0} f_t dt$$

El modelo anterior fue aplicado en un experimento a un vehículo individual en Melbourne, obteniendo resultados con un margen de error de aproximadamente un 5 %.

MODELO DE AN Y ROSS

Otro modelo basado en la energía desarrollado por An y Ross [ANR1993] expresa el consumo de combustible de un vehículo en función de algunas características del vehículo y de un sumario de características de cualquier viaje, según lo ilustrado en la ecuación:

$$\text{Fuel} = \left[\alpha_{f,pwr}(1 - t_c - t_D) \left(\frac{v_{gear}}{\bar{v}} \right) + \alpha_{f,idle} \frac{(t_c + t_D)}{\bar{v}} \right] + (\alpha_{tire} + \alpha_{air} \lambda v_r^2 + \alpha_{brake} \beta v_p^2 n + \frac{\alpha_{acc}}{\bar{v}})$$

Donde:

Fuel = Consumo de combustible por unidad de distancia.

\bar{v} = Velocidad media total.

v_r = Velocidad media de circulación (cuando el vehículo está en marcha).

v_p = Velocidad media máxima (raíz cuadrada de las velocidades máximas del subciclo).

n = Número de paradas por milla (o grandes retenciones).

v_{gear} = Relación de la velocidad media en zonas densamente pobladas, próximas a v_r , y la velocidad máxima a marchas largas.

λ = Cociente entre la media del cuadrado de la velocidad de circulación y el cuadrado de la velocidad media de circulación.

β = Fracción de energía cinética absorbida por los frenos.

t_c, t_D = Fracción de tiempo de frenado y parada, respectivamente.

$\alpha_{f,pwr}, \alpha_{f,idle}$ = Fricción del motor en régimen de aceleración y deceleración, respectivamente.

α_{tire} = Coeficiente relacionado con la resistencia de la banda de rodadura del neumático.

α_{air} = Coeficiente relacionado con la resistencia del aire.

α_{brake} = Coeficiente relacionado con los frenos.

α_{acc} = Coeficiente relacionado con los accesorios del vehículo.

MODELO DE AHN Y RAKHA

Ahn [AHN1998] y Rakha [RAK1998] desarrollaron un modelo microscópico de consumo de combustible basado en los datos de la evolución instantánea del cociente de la velocidad y la aceleración, del consumo de combustible y de las medidas de emisión que fueron recogidas por The Oak Ridge Laboratory (ORNL) para ocho vehículos de poca potencia. Tomando los consumos medios de combustible para los ocho vehículos a varias velocidades y aceleraciones se obtuvieron los valores del vehículo compuesto, tomado como vehículo medio típico.

Los vehículos usados en las pruebas del ORNL son representativos de un vehículo típico de motor de combustión interna de poca potencia de Estados Unidos en 1995. El tamaño medio del motor para los vehículos de la prueba era 3,3 litros, el número medio de cilindros era 5,8, y el peso medio era 1.497 kilogramos. Los vehículos fueron probados en carretera.

Las informaciones en bruto recogidas en ORNL representan una única característica de funcionamiento del vehículo. Por ejemplo, los vehículos con un alto valor del cociente potencia/peso tienen mejor aceleración funcionando a altas velocidades que los que tienen menores valores de potencia/peso [AHN1998]. Este funcionamiento inherente de la velocidad-aceleración se incorpora en los modelos microscópicos y se muestran en la figura para un vehículo compuesto hipotético. La relación lineal entre la velocidad y la aceleración ilustra que la aceleración a cierta velocidad no puede exceder el límite que permite la relación cinemática del vehículo.

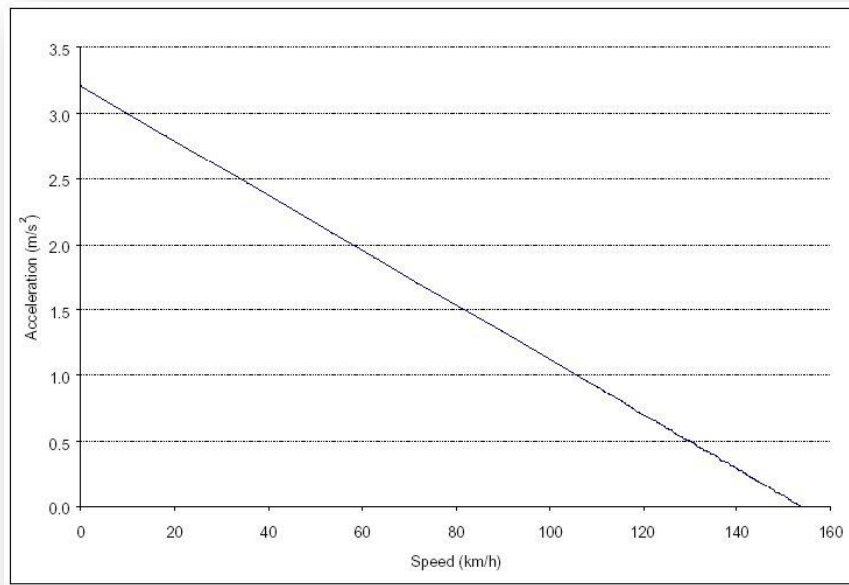


Fig 20. Curva velocidad – aceleración para un vehículo [AHN1998]

La ecuación siguiente muestra el formato general del modelo. La aplicación del logaritmo imposibilita cualquier valor negativo del consumo de combustible.

$$\log(\text{Fuel}) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 (k_{i,j} \cdot s^i \cdot a^j)$$

Donde:

Fuel = Consumo de combustible (l/s).

k = Coeficientes del modelo de regresión.

s = Velocidad instantánea del vehículo (m/s).

a = Aceleración instantánea del vehículo (m/s²).

i = Exponente de la velocidad (s, s², s³).

j = Exponente de la aceleración (a, a², a³).

El modelo estima el consumo de combustible del vehículo dentro del 2,5 % de los valores de las medidas reales. El modelo se incorporó dentro de INTEGRATION, un modelo microscópico de simulación de tráfico [RAK2004].

3.1.3. Modelos de Consumo Modal de Combustible

Las áreas de aplicación de estos modelos son similares a las de los modelos instantáneos. Un modelo de consumo modal de combustible considera las diversas condiciones de funcionamiento que experimenta un vehículo en un viaje típico. Este tipo de modelo considera que los elementos asociados al modo de conducción son independientes frente a los de otro modo, siendo la suma del consumo de todos ellos igual al consumo total de combustible.

Las ventajas de este modelo son su simplicidad, generalidad y claridad conceptual, así como la relación directa con las técnicas existentes de modelado del tráfico [RIC1981].

El inconveniente más grande de estos modelos de consumo de combustible es la dificultad de introducir cualquier diferencia en el comportamiento de los conductores, tales como las maniobras de aceleración y deceleración de diversos conductores, o los distintos comportamientos de un mismo conductor bajo diversas situaciones.

MODELO DE BAKER

Baker [BAK1994] hizo un intento para superar estas limitaciones empleando una simple relación entre aceleración/deceleración y la velocidad para mostrar las diferencias en los comportamientos de los conductores, según se muestra en la figura 21. El modelo básico se desarrolló con la colección de datos obtenida de un vehículo de pruebas en Orlando, Florida. Los modelos desarrollados estimaban el consumo de combustible como función de la velocidad del vehículo en condiciones de travesía, arranque, parada y marcha lenta, que eran los modos de conducción. El combustible consumido a lo largo de un viaje entero es repartido a las fases de aceleración y desaceleración de la siguiente forma:

- Durante el recorrido a velocidad constante, solamente se calcula el combustible en travesía.
- Durante períodos de desaceleración, solamente se calcula el combustible en marcha lenta.
- Durante períodos de aceleración, primero se calcula el combustible en travesía a la velocidad media (v) y a continuación, se calcula el combustible adicional que se consume mientras se termina un ciclo completo de arranque/parada (decelera de v_2 a v_1 , entonces acelera de v_1 a v_2). En segundo lugar, el tiempo requerido para reducir la velocidad de v_2 a v_1 durante la desaceleración, se calcula en base a la relación definida de aceleración/deceleración-velocidad. Tercero, esta vez multiplicando por el consumo en travesía a la velocidad media v , menos el consumo en marcha lenta, se obtiene el volumen neto de combustible. El sumatorio de estos tres volúmenes de combustible se imputa a la fase de la aceleración.

Una vez más este modelo sufre de las limitaciones generales de modelos modales ya que asume que dos conductores a la misma velocidad tendrán las mismas características de aceleración/deceleración y no puede percibir las diferencias que se presentan en las distintas condiciones de viaje.

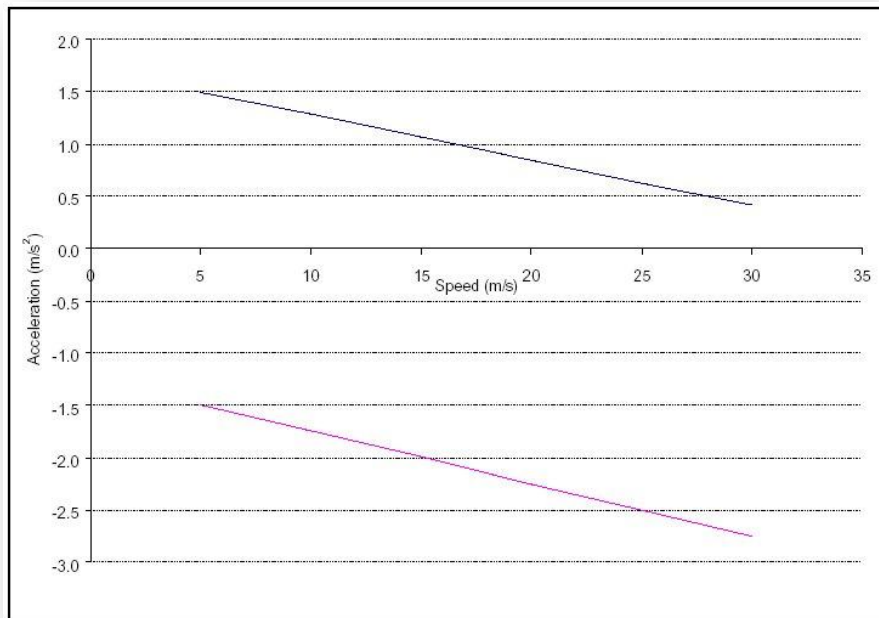


Fig 21. Aceleración frente a velocidad [BAK1994]

MODELO DE DION

Dion desarrolló un modelo mesoscópico que estima el consumo medio de un vehículo basándose en la velocidad media, el número medio de paradas de los vehículos por unidad de distancia, y la duración media de la parada para ocho vehículos de baja potencia. Similar a los modelos modales, el modelo estima de forma separada el consumo de combustible por unidad de distancia durante cada modo de operación de un vehículo (deceleración, marcha lenta, aceleración, y travesía) usando las relaciones obtenidas del modelo de consumo de combustible [AHN1998].

Según lo ilustrado en la figura siguiente (figura 22):

- Primero, el modelo (módulo de análisis) construye un ciclo típico de conducción para un vehículo específico basado en una velocidad media dada, un número medio de paradas por unidad de distancia, y una duración media de las paradas.
- En segundo lugar, el modelo (cantidad de viaje por modo) calcula la proporción más probable de tiempo que el vehículo está en travesía, decelerando, parado, y acelerando durante este viaje típico.
- Se calcula el consumo de combustible y las emisiones asociadas a cada modo de operación multiplicando el tiempo correspondiente con el consumo de combustible y la emisión por unidad de tiempo proveniente del modelo microscópico para cada modo.
- Como salida, el combustible total consumido y los agentes contaminadores emitidos para cada modo sobre el ciclo típico de conducción se suman, después se normalizan para expresar los consumos medios por kilómetro.

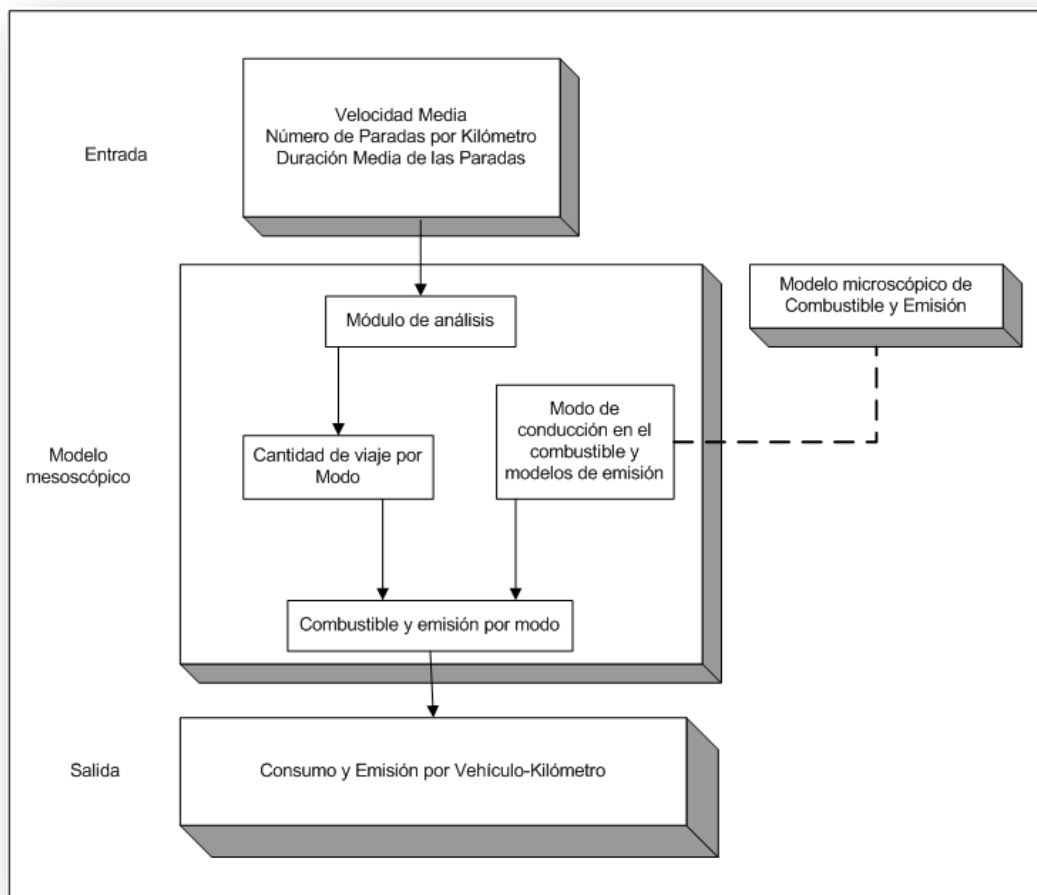


Fig 22. Flujo de información dentro de un modelo mesoscópico de consumo de combustible y modelo de emisión[DIO2000]

Los usos del modelo de EPA (Environmental Protection Agency) en los ciclos de conducción urbana y de carretera indican su capacidad de predecir las tasas de consumo de combustible, siendo éstos consistentes con los consumos predichos por el modelo microscópico, así como los consumos de combustible publicados por EPA.

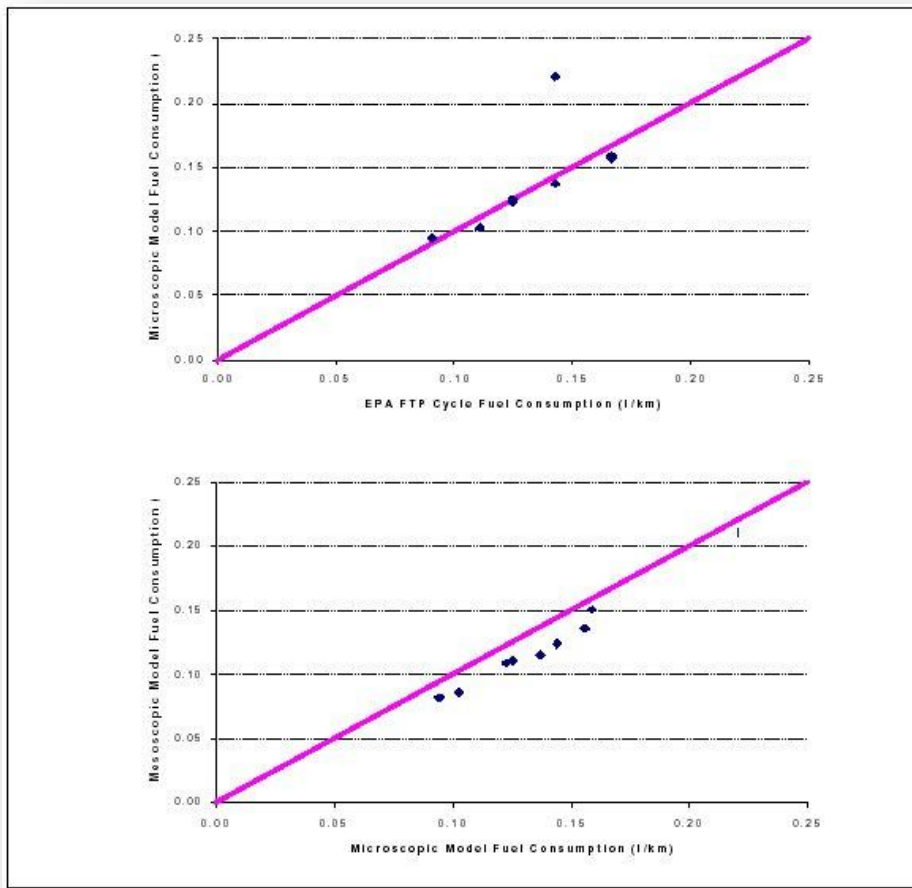


Fig 23. Consumo mesoscópico y microscópico para un modo de conducción urbano de EPA.[DIO2000]

MODELO DE CUATRO MODOS

El modelo se basa en el cálculo en función del tipo de modo en el que se encuentre el vehículo, eso es:

- Aceleración, considerado como el vehículo que progresivamente aumenta de velocidad.
- Frenado, considerado como el vehículo que progresivamente disminuye de velocidad.
- Crucero, considerado como el vehículo que se desplaza a velocidad constante.
- Ralentí, considerado como el vehículo que tiene el motor en funcionamiento pero a una velocidad inferior a 5 km/h.

El modelo requiere como datos de entrada las distancias, velocidades de inicio y fin de aceleraciones y frenadas, tiempos de inactividad, gradientes, etc.

El modelo contiene cuatro funciones independientes de cálculo, F_a , F_d , F_c y F_i , correspondientes respectivamente con la estimación del consumo de combustible (en

mL) para cada modo (aceleración, frenado, cruce y ralentí). Las cuatro funciones se describen a continuación:

Consumo de combustible en aceleración

La expresión siguiente puede ser usada para el cálculo de la cantidad de combustible consumido en la fase de aceleración de un vehículo desde una velocidad inicial v_i hasta una velocidad final v_f :

$$F_a = \max\{\alpha t_a + (\Gamma + k_1 B(v_i^2 + v_f^2) + \beta_1 M E_k + k_2 \beta_2 M E_k^2 + 0.0981 \beta_1 M \omega) x_a, \alpha t_a\}$$

Donde:

E_k = Expresa el cambio de energía cinética por unidad de distancia durante la aceleración, calculada como:

$$E_k = 0.385810^{-4}(v_f^2 - v_i^2)/x_a$$

k_1 = Coeficiente de integración, calculado como:

$$k_1 = 0.616 + 0.000544v_f - 0.0171\sqrt{v_i}$$

k_2 = Coeficiente de integración, calculado como:

$$k_2 = 1.376 + 0.00205v_f - 0.0053v_i$$

x_a = Distancia recorrida.

t_a = Tiempo de viaje.

Si no se conocen la distancia y el tiempo de viaje, puede estimarse mediante las expresiones:

$$x_a = m_a(-v_i + v_f)t_a/3600$$

$$m_a = 0.467 + 0.00200v_f - 0.00210v_i$$

$$t_a = (v_f - v_i)/(2.08 + 0.127\sqrt{(v_f - v_i)} - 0.0182v_i)$$

Γ = Parámetro de función (en mL/km, típicamente entre 21 y 100).

B = Parámetro de función (en (mL/km) (km/h)², típicamente entre 0,0055 y 0,018).

Consumo de combustible en frenado

La expresión siguiente puede ser usada para el cálculo de la cantidad de combustible consumido en la fase de frenado de un vehículo desde una velocidad inicial v_i hasta una velocidad final v_f :

$$F_d = \max\{\alpha t_d + (k_x \Gamma + k_y k_1 B(v_i^2 + v_f^2) + k_a \beta_1 M E_k + 0.0981 k_x \beta_1 M \omega) x_d, \alpha t_d\}$$

Donde los parámetros son los mismos que en el paso anterior, a excepción de:

k_x, k_y, k_a = Parámetros relacionados con la energía, y que se calculan con las siguientes expresiones:

$$k_x = 0.046 + \frac{100}{M} + 0.00421v_i + 0.00260v_f + 0.05444\omega$$

$$k_y = k_x^{0.75}k_a = k_x^{3.81}(2 - k_x^{3.81})$$

$$k_{x1} = 0.621 + 0.000777v_i - 0.018\sqrt{v_f}$$

Consumo de combustible en velocidad crucero

La expresión siguiente puede ser usada para el cálculo de la cantidad de combustible consumido en la fase de velocidad de crucero de un vehículo:

$$F_c = \max \left\{ \frac{f_i}{v_c} + \Gamma + Bv_c^2 + k_{E1}\beta_1 ME_{k+} + k_{E2}\beta_2 ME_{k+}^2 + 0.0981k_G\beta_1 M\omega, f_i/v_c \right\} x_c$$

Donde los parámetros son los mismos que en los pasos anteriores), a excepción de:

v_x = Velocidad media de crucero (km/h).

x_x = Distancia de viaje (km).

E_{k+} = Expresa el cambio de energía cinética positiva por unidad de distancia durante el modo de velocidad crucero, calculada como:

$$E_{k+} = \max\{0.258 - 0.0018v_c, 0.10\}$$

k_{E1}, k_{E2}, k_G = Parámetros de calibración, calculados como:

$$k_{E1} = \max \left\{ \frac{12.5}{v_c}, +0.000013v_c^2, 0.63 \right\}$$

$$k_{E2} = 3.17$$

$$k_G = 1 - 2.1E_{k+} \text{ para } \omega < 0$$

$$k_G = 1 - 0.3E_{k+} \text{ para } \omega > 0$$

Consumo de combustible en ralentí

La expresión siguiente puede ser usada para el cálculo de la cantidad de combustible consumido en la fase de ralentí de un vehículo:

$$F_i = \alpha t_i$$

Donde:

α = Ratio de combustible en ralentí (mL/s).

t_i = Tiempo en ralentí.

Consumo de ciclo completo

Para un ciclo completo, el consumo de combustible total (F_t en mL) puede ser calculado de la siguiente forma:

$$F_t = \int_0^{t_a} F_a dt + \int_0^{t_d} F_d dt + \int_0^{t_c} F_c dt + \int_0^{t_i} F_i dt$$

El modelo completo supone una pérdida mínima de información de conducción, y por tanto, una pérdida mínima de precisión en lo referente a las estimaciones de consumo de combustible, si bien, su cálculo es complejo y requiere de una gran capacidad de procesamiento de información.

De acuerdo con lo anterior, el modelo es más adecuado para la estimación del consumo de combustible para viajes de corta distancia, pero incluso así, su gran número de parámetros y la existencia de cuatro funciones puede hacer que sea difícil de aplicar, si bien, el rango de error puede ser inferior al 1 %.

MODELO DE BARTH

Un modelo modal de estimación de consumo para vehículos pesados fue desarrollado por Barth [BAR2005], consistente en tres módulos:

Potencia del Motor

La función de demanda de potencia para un vehículo pesado se obtiene de los requisitos potencia de tracción P_{tract} (kW) localizada en las ruedas del vehículo:

$$P_{tract} = (Ma + Mg \sin \theta + 0.5C_d \rho A v^2 + MgC_r \cos \theta)v/1000$$

Donde:

v = Velocidad (m/s).

M = Peso del vehículo (kg).

δ = Densidad del aire (kg/m^3 , típicamente 1,2041).

A = Área frontal del vehículo (m^2 , típicamente entre 2,1 y 5,6).

g = Gravedad (m/s^2 , típicamente 9,81).

C_d = Coeficiente de resistencia aerodinámica (típicamente 0,7).

C_r = Coeficiente de resistencia de rodadura (típicamente 0,01).

Para trasladar el requisito de potencia de tracción en las ruedas al requisito de potencia del motor, se usa la siguiente expresión:

$$P = \frac{P_{tract}}{\eta_{tf}} + P_{acc}$$

Donde:

P = Potencia del motor (kW).

μ_{tf} = Parámetro de eficiencia (típicamente 0,4).

P_{acc} = Potencia del motor asociada a pérdidas de funcionamiento del propio motor y asociada a pérdidas de otros accesorios del vehículo como puede ser el aire acondicionado (típicamente 0).

Velocidad del Motor

La velocidad del motor se aproxima en términos de velocidad del vehículo, tal y como sigue:

$$N = S \left(\frac{R(L)}{R(L_g)} \right) v$$

Donde:

N = Velocidad del motor (rpm, típicamente entre 16 y 48).

S = Ratio entre la velocidad del motor/velocidad del vehículo en la marcha L_g .

R(L) = Relación de transmisión en la marcha $L = 1, \dots, L_g$.

v = Velocidad (m/s).

μ = Parámetro de eficiencia para motores diesel (típicamente 0,4).

- Tasa de Combustible:

La tasa de combustible en g/s se calcula mediante la siguiente expresión:

$$FR = \phi \left(kNV + \frac{P}{\eta} \right) / 44$$

Donde:

Φ = Relación combustible-aire.

k = Factor de fricción del motor (típicamente 0,2).

V = Desplazamiento del motor (en litros, típicamente entre 2 y 8).

3.1.4. Modelos de Consumo Combustible basados en la Velocidad Media

Los modelos de consumo de combustible basados en la velocidad media relacionan el consumo de combustible con el tiempo de viaje, o recíprocamente con la velocidad media [EVA1978], según lo ilustrado en la ecuación siguiente. Estos modelos son convenientes para estimar el consumo total de combustible del tráfico en sistemas urbanos grandes y para asesorar a los centros de gestión de tráfico, ya que éstos influyen sobre las velocidades medias y en los niveles de demanda de viajes mediante la planificación.

$$\text{Fuel} = k_1 + k_2 \bar{t} = k_1 + \frac{k_2}{\bar{v}}$$

Donde:

Fuel = Consumo de combustible por unidad de distancia.

t = Tiempo de viaje por unidad de distancia.

v = velocidad media de viaje.

k_1, k_2 = Constantes.

Los modelos basados en la velocidad media se pueden aplicar cuando el rango de las velocidades medias está entre 10 y 50 km/h. No obstante, estos modelos han limitado su aplicación tanto a muy bajas como a altas velocidades porque la fricción aerodinámica se convierte en un factor dominante y el consumo de combustible no puede expresarse únicamente en función de la velocidad media.

MODELO DE LAM

Lam [LAM1985] desarrolló un modelo estadístico de segundo grado para estimar el consumo de combustible de un vehículo basado en la velocidad media de un vehículo. El modelo fue desarrollado empleando alta velocidad y ciclos de conducción con velocidad uniforme. Lam propuso dos modelos:

- El primero de estos modelos relaciona el consumo de combustible de un vehículo con la velocidad media de viaje, el tamaño del motor y el peso del vehículo para una conducción urbana, según lo expresado en la ecuación:

$$\text{Fuel} = w(cE^d) \left(1 + \frac{u}{v}\right) + wL$$

- El segundo modelo calcula el consumo de combustible usando las mismas variables, excepto que el modelo es válido para condiciones de conducción rural, según lo expresado en la ecuación:

$$\text{Fuel} = w(cE^d) + Bv^2 + wL$$

Donde:

Fuel = Consumo de combustible por unidad de distancia.

E = Centímetros cúbicos del motor.

v = Velocidad media.

L = Carga útil.

w, c, d, B = Constantes.

MODELO DE BOWYER

A partir de los modelos de consumo modal de combustible, Bowyer [BOW1985] desarrolló un modelo de cálculo basado en velocidades medias, pero que considera los periodos de tiempo del vehículo entre varios períodos de ralentí.

El modelo parte de la siguiente expresión:

$$F_s = \max \left\{ \alpha t_i + \left(\frac{f_i}{v_r} + \gamma + Bv_r^2 + k_{E1}\beta_1 ME_{k+} + k_{E2}\beta_2 ME_{k+}^2 + 0.0981k_G\beta_1 M\omega \right) x_s, \alpha t_s \right\}$$

Donde:

F_s = Consumo de combustible (mL)

α = Tasa de consumo pasivo (ml/s, típicamente entre 0,375 y 0,556).

f_i = Consumo de combustible en ralentí = αt_i

v_r = Velocidad media (km/h).

B = Parámetro de función (en (mL/km) (km/h)², típicamente entre 0,0055 y 0,018).

k_{E1}, k_{E2}, k_G = Parámetros de calibración, calculados como:

$$k_{E1} = \max \left\{ \frac{12.5}{v_c}, +0.000013v_c^2, 0.63 \right\}$$

$$k_{E2} = 3.17$$

$$k_G = 1 - 2.1E_{k+} \text{ para } \omega < 0$$

$$k_G = 1 - 0.3E_{k+} \text{ para } \omega > 0$$

β_1 = Parámetro de consumo de combustible por unidad de energía (mL/kJ, típicamente entre 0,09 y 0,08).

β_2 = Parámetro de consumo de combustible por unidad de energía en aceleración (mL/ (kJm/s²), típicamente entre 0,03 y 0,02).

M = Peso del vehículo (kg).

E_{k+} = Expresa el cambio de energía cinética positiva por unidad de distancia durante el modo de velocidad crucero, calculada como:

$$E_{k+} = \max\{0.35 - 0.0025v_r, 0.15\}$$

x_s = Distancia recorrida.

t_s = Tiempo de recorrido, calculado como el tiempo en ralentí (t_i) más el tiempo en circulación.

MODELO DE HICKMAN: MEET

Hickman [HIC1999] desarrolló una metodología sobre los factores de emisión para el transporte por carretera llamada MEET, utilizado para el cálculo de las emisiones del transporte y el consumo de energía para los vehículos pesados.

Esta metodología incluye una variedad de funciones de estimación, que son principalmente función de la velocidad y un número de parámetros fijos y preestablecidos para los vehículos de pesos que van desde 3,5 hasta 32 toneladas.

Para los vehículos de menos de 3,5 toneladas, el consumo de combustible se calcula utilizando una función dependiente de la velocidad de la forma

$$\varepsilon = 0.0617v^2 - 7.8227v + 429.51$$

Para otras clases de vehículos, MEET sugiere el uso de la expresión:

$$\varepsilon = K + av + bv^2 + cv^3 + \frac{d}{v} + \frac{e}{v^2} + f/v^3$$

Donde:

ε = Tasa de emisión o consumo (g/km) para un vehículo de mercancías sin carga en una carretera sin pendiente.

v = Velocidad media (km/h).

Los factores y funciones se refieren a condiciones estándar (carreteras sin pendientes y vehículos de mercancías vacíos) y se calcula típicamente como una función de la velocidad media del vehículo.

Dependiendo del tipo de vehículo, se definen una serie de correcciones que pueden ser necesarias para incluir los efectos de la pendiente de la carretera y la carga del vehículo sobre el consumo y las emisiones.

La expresión siguiente se utiliza para considerar el efecto de la pendiente de la carretera:

$$GC = A_6v^6 + A_5v^5 + A_4v^4 + A_3v^3 + A_2v^2 + A_1v + A_0$$

Donde:

GC = Factor de corrección de la pendiente de la carretera.

La expresión para considerar el efecto de la carga del vehículo es:

$$LC = k + n\gamma + p\gamma^2 + q\gamma^3 + \frac{r}{v} + \frac{s}{v^2} + \frac{t}{v^3} + u/v$$

Donde:

LC = Factor de corrección de carga.

El consumo total se calcula tal como se indica en la siguiente expresión:

$$F = \varepsilon \cdot GC \cdot LC \cdot \text{Distance}$$

MEET se basa en mediciones de uso en carretera y los parámetros han sido extraídos mediante experimentación con vehículos en uso real. Sin embargo, la principal deficiencia de este modelo es el uso de los ajustes mediante parámetros fijos específicos del vehículo para cualquier vehículo en una clase de peso dado.

MODELO DE NTZIACHRISTOS: COPERT

COPERT fue desarrollado por Ntziachristos y Samaras [NTZ2000] y tiene la aplicabilidad de estimar un gran rango de emisiones contaminante atmosféricas (como son los gases de efecto invernadero) y el consumo de combustible por distintas categorías de vehículos (por ejemplo, vehículos de pasajeros, vehículos comerciales ligeros, vehículos pesados, ciclomotores y motocicletas).

Similar al modelo descrito anteriormente, utiliza una serie de funciones que son específicas para vehículos de diferentes pesos o categorías para estimar el consumo de combustible.

Por ejemplo, la función para un vehículo ligero es:

$$0.0198v^2 - 2.506v + 137.42$$

METODOLOGÍA EMEP/CORINAIR

El informe EMEP/CORINAIR, aceptado a nivel Europeo, describe la metodología y los factores de emisión relevantes para la estimación de emisiones del tráfico rodado.

En 1979 se suscribió la Convention on Long Range Transboundary Air Pollution [CLR1979] una vez que se demostró la relación entre las emisiones de azufre en Europa con los procesos de acidificación de los lagos escandinavos y tras la confirmación de que los contaminantes atmosféricos pueden ser transportados cientos de kilómetros antes de depositarse y causar daños al medio ambiente. Uno de los compromisos de los países signatarios fue el reportar las emisiones atmosféricas como información básica para el establecimiento y verificación de cumplimiento de políticas y estrategias de control ambiental; en función de los protocolos que se han ido incorporando (Protocolo Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe (EMEP) (1984), Protocolo de Helsinki (1985), Protocolo de Sofía (1988), Protocolo de Ginebra (1991), etc.)

Con la Decisión 85/338/EEC se estableció un programa para la recopilación y gestión de la información sobre el estado del medio y de los recursos naturales en Europa. Este programa denominado CORINE (CO-oRdination d'INformation Environnementale) incluye un componente para la recopilación, mantenimiento, manejo y publicación de las emisiones atmosféricas, CORINAIR (CORe INventory of AIR emissions).

CORINAIR se sustenta en el desarrollo y presentación de inventarios nacionales por parte de los países miembros, que se van almacenando en una base de datos de acceso público [EEA2003].

En 1996, la EEA publica la primera versión de guías [INN1996] para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas. Estas guías fueron desarrolladas conjuntamente por EMEP/CORINAIR, como fuentes de consulta actualizables, siguiendo un sistema de clasificación en tres niveles de las actividades emisoras (Selected Nomenclature for Air Pollution, SNAP): un nivel superior de 11 categorías, un nivel intermedio con 77 subcategorías, y un tercer nivel que abarca 375 fuentes de actividad. Dichas guías se actualizan periódicamente.

La metodología EMEP/CORINAIR [EEA1999] para el cálculo de las emisiones por tráfico rodado se implementó en el modelo europeo de emisiones de tráfico COPERT (Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport).

A continuación se describe la metodología a seguir para realizar la estimación de emisiones según la metodología EMEP/CORINAIR:

Esta metodología estima las emisiones de los diferentes contaminantes con diferentes grados de análisis, de acuerdo con la siguiente clasificación:

- Grupo 1: contaminantes para los que se dispone de una metodología detallada de análisis, basada en factores de emisión que se definen en función del tipo de vehículo (combustible empleado, ligero o pesado, rígido o articulado), de las condiciones de tráfico (velocidad de circulación), de la carga transportada (porcentaje de carga), del tipo de circulación (urbano, rural o carretera) y del tonelaje del vehículo (Tn). Dentro de esta categoría se incluyen, NO_x, CO, COV, CH₄ y PM.
- Grupo 2: contaminantes cuyas emisiones se definen indirectamente en función del consumo de combustible. Se incluyen al CO₂ y SO₂.
- Grupo 3: contaminantes para los que existe una metodología simple, en razón de la ausencia de información detallada. Se incluye al N₂O.

Para la estimación de emisiones de cada contaminante considerado en los distintos grupos, se realiza un cálculo combinando datos técnicos, factores de emisión según contaminante; y datos de actividad, kilómetros que recorre el vehículo.

En principio, las emisiones totales se calculan sumando emisiones de tres fuentes diferentes:

- Emisiones en caliente (hot exhaust emissions): aquellas que provienen del tubo de escape de los vehículos cuando los motores alcanzan estabilidad en su temperatura de funcionamiento, es decir, cuando la temperatura del agua de refrigeración es superior a 70 °C.
- Emisiones en frío (cold exhaust emissions): aquellas que provienen del tubo de escape de los vehículos antes de que los motores alcancen estabilidad en su temperatura de funcionamiento, es decir, cuando la temperatura del agua de refrigeración todavía no ha alcanzado los 70 °C.
- Emisiones evaporativas (evaporative emissions): son aquellas emisiones de COV que proceden de la evaporación del combustible desde otros dispositivos diferentes del tubo de escape (tanque de almacenamiento de combustible y cárter).

Es necesaria la distinción entre emisiones en frío y en caliente porque existen sustanciales diferencias en las emisiones del vehículo durante estas dos fases. La

concentración de muchos contaminantes durante el periodo de calentamiento es más alta que durante la fase estable del motor.

Las emisiones totales son calculadas a partir de la ecuación siguiente:

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

Donde:

E_{TOTAL} = emisiones totales en [g] del contaminante.

E_{HOT} = emisiones en [g] durante la fase estable del motor.

E_{COLD} = emisiones en [g] durante la fase de calentamiento del motor.

E_{EVAP} = emisiones en [g] debido a la evaporación de combustible. Estas emisiones sólo son relevantes para los compuestos orgánicos volátiles (COV).

Las emisiones son fuertemente dependientes de las condiciones de operación del motor. Diferentes situaciones de conducción imponen diferentes condiciones de operación del motor y, por tanto, resultados distintos en la emisión de contaminantes. Respecto a esto, se hace una distinción entre conducción urbana, rural y autopista o carretera.

Las velocidades típicas para cada situación de conducción son:

Tipo de conducción	Rango de velocidad típico [Km/h]
Urbana	10 – 50
Rural	40 – 80
Autopista	70 – 130

Tabla 5. *Rango de velocidades según tipo de conducción*

Se atribuyen distintos datos de actividad y factores de emisión para cada situación de conducción. También, por definición, las emisiones en frío se atribuyen a condiciones de conducción urbana porque se supone que la mayoría de los vehículos comienzan cualquier viaje en área urbana.

Por tanto, también se pueden calcular las emisiones totales usando la ecuación simplificada:

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

Donde:

E_{TOTAL} = emisiones totales en [g] del contaminante.

E_{URBAN} = emisiones en [g] para conducción urbana.

E_{RURAL} = emisiones en [g] para conducción rural.

$E_{HIGHWAY}$ = emisiones en [g] para conducción en autopista.

Además, se puede hacer una simplificación aún mayor, ya que las emisiones en caliente son, por regla general, las más contribuyentes a las emisiones totales, pudiendo

asimilarse las emisiones en caliente igual a las emisiones totales, sin contabilizar las emisiones en frío, que en los vehículos modernos equivaldrían al primer medio minuto de encendido del motor, y las emisiones evaporativas, únicamente aceptables para las emisiones de COV.

Por lo tanto, se va a explicar únicamente la forma de calcular las emisiones correspondientes a las emisiones en caliente.

Como se ha comentado con anterioridad, se entiende por emisiones en caliente las que tienen lugar durante la fase de estabilidad térmica del motor. Estas emisiones dependen de una serie de factores incluyendo la distancia que cada vehículo recorre, la velocidad, tipo de carretera, la edad o la carga.

Las emisiones en caliente se valoran mediante la siguiente ecuación:

$$E_{(i,j,k)} = N_{(j)} \cdot M_{(j,k)} \cdot e_{(i,j,k)}$$

Donde:

i = tipo de contaminante (NO_x , COV, CO, SO_2 , PST, CO_2 , CH_4 y N_2O).

j = categoría de vehículo (en función del tipo, peso, edad y carga).

k = tipo de vía (urbanas, carreteras y autopistas).

$E_{(i,j,k)}$ = emisiones del contaminante i en [g], producido en un intervalo horario de una hora por vehículos de clase j conducidos en carreteras de tipo k .

$N_{(j)}$ = número de vehículos [veh] de clase j en circulación en el periodo de tiempo.

$M_{(j,k)}$ = kilometraje por vehículo [km/veh] de tipo j conducido en carretera tipo k .

$e_{(i,j,k)}$ = factor de emisión medio representativo en [g/km] para el contaminante i , vehículo clase j , en carreteras de tipo k .

La dependencia de los factores de emisión con la velocidad está tabulada según tablas en la guía EMEP/CORINAIR.

A continuación, se muestra la división de categorías de vehículos que considera la guía EMEP/CORINAIR, así como el cálculo de los factores de emisión de cada contaminante en función de ciertas características (velocidad, etc.).

Parque móvil

Los vehículos, de acuerdo con la metodología de valoración de las emisiones EMEP/CORINAIR 2007, se clasifican en las categorías siguientes:

- Turismos a gasolina y diesel.
- Vehículos ligeros.
- Vehículos pesados.
- Autobuses.
- Ciclomotores.
- Motocicletas.

La división de categorías de vehículos consideradas en el modelo CORINAIR se muestra en las tablas siguientes:

Vehicle Type	Class	Legislation
Passenger Cars	Gasoline <1.4l 1.4 - 2.0l >2.0l	PRE ECE ECE 15/00-01 ECE 15/02 ECE 15/03 ECE 15/04 Improved Conventional Open Loop Euro 1 - 91/441/EEC Euro 2 - 94/12/EC Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000 Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005 Euro 5 – EC 715/2007 Euro 6 – EC 715/2007
	Diesel <2.0l >2.0l	Conventional Euro 1 - 91/441/EEC Euro 2 - 94/12/EC Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000 Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005 Euro 5 – EC 715/2007 Euro 6 – EC 715/2007
	LPG	Conventional Euro 1 - 91/441/EEC Euro 2 - 94/12/EC Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000 Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005
	2 Stroke	Conventional
	Hybrids <1.6l	Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005

Tabla 6. Clasificación de vehículos de la Guía CORINAIR – Passenger Cars

Vehicle Type	Class	Legislation
Light Duty Vehicles	Gasoline <3.5t	Conventional Euro 1 - 93/59/EEC Euro 2 - 96/69/EC Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000 Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005 Euro 5 – EC 715/2007 Euro 6 – EC 715/2007
	Diesel <3.5t	Conventional Euro 1 - 93/59/EEC Euro 2 - 96/69/EC Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000 Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005 Euro 5 – EC 715/2007 Euro 6 – EC 715/2007

Tabla 7. Clasificación de vehículos de la Guía CORINAIR – Light Duty Vehicles

Vehicle Type	Class	Legislation
Heavy Duty Vehicles	Gasoline >3.5t	Conventional
	Rigid <=7.5t	Conventional Euro I - 91/542/EEC Stage I Euro II - 91/542/EEC Stage II Euro III - 1999/96/EC Stage I Euro IV – 1999/96/EC Stage II Euro V – 1999/96/EC Stage III Euro VI – No proposal yet
	Rigid 7.5-12t	
	Rigid 12-14t	
	Rigid 14-20t	
	Rigid 20-26t	
	Rigid 26-28t	
	Rigid 28-32t	
	Rigid >32t	
	Articulated 14-20t	
	Articulated 20-28t	
	Articulated 28-34t	
	Articulated 34-40t	
	Articulated 40-50t	
	Articulated 50-60t	

Tabla 8. Clasificación de vehículos de la Guía CORINAIR – Heavy Duty Vehicles

Vehicle Type	Class	Legislation
Buses	Urban <=15t	Conventional Euro I - 91/542/EEC Stage I Euro II - 91/542/EEC Stage II Euro III - 1999/96/EC Stage I Euro IV - 1999/96/EC Stage II Euro V - 1999/96/EC Stage III Euro VI - No proposal yet
	Urban 15-18t	
	Urban >18t	
	Coaches standard <=18t	
	Coaches articulated >18t	
	CNG	Euro I - 91/542/EEC Stage I Euro II - 91/542/EEC Stage II Euro III - 1999/96/EC Stage I EEV - 1999/96/EC

Tabla 9. Clasificación de vehículos de la Guía CORINAIR – Buses

Vehicle Type	Class	Legislation
Mopeds	<50cm ³	Conventional 97/24/EC Stage I – Euro 1 97/24/EC Stage II – Euro 2 Euro 3 proposal
Motorcycles	2 Stroke >50cm ³	Conventional
	4 stroke 50 - 250cm ³	97/24/EC – Euro 1
	4 stroke 250 - 750cm ³	2002/51/EC Stage I – Euro 2
	4 stroke >750cm ³	2002/51/EC Stage II – Euro 3

Tabla 10. Clasificación de vehículos de la Guía CORINAIR – Mopeds / Motorcycles

Los tipos de vehículos a su vez, de acuerdo con la metodología de valoración de las emisiones EMEP/CORINAIR, tienen una subclasificación en categorías asociadas a diferentes periodos de vigencia de directivas que aparecieron desde el año 1970. Esta subdivisión se estructura en función de la normativa vigente sobre los límites de emisión para la homologación de los vehículos tal y como se muestran en las tablas anteriores.

Para los vehículos de carga de $< 3,5$ Tn se consideraron las siguientes sub categorías:

- Convencional, vehículos homologados durante el año 1992 y anteriores.
- Euro 1, vehículos homologados durante el período 1993 – 1997, que deben cumplir los límites de emisión de la Directiva 93/59/EEC.
- Euro 2, vehículos homologados durante el período 1997 – 2001, que deben cumplir los límites de emisión de la Directiva 96/69/EC.
- Euro 3, vehículos homologados durante el período 2001 – 2006, que deben cumplir los límites de emisión de la Directiva 98/69/EC.
- Euro 4, vehículos homologados durante el período 2006 – 2009, que deben cumplir los límites de emisión de la Directiva 98/69/EC.
- Euro 5, vehículos homologados a partir de 2010.

Para los vehículos de carga de gasolina de $> 3,5$ Tn se consideran todos incluidos en la categoría convencional.

Para los vehículos de carga de gasolina de $> 3,5$ Tn:

- Convencional, vehículos homologados durante el año 1992 y anteriores.
- Euro I, vehículos homologados durante el período 1992 – 1995, que deben cumplir los límites de emisión de la Directiva 91/542/EEC.
- Euro II, vehículos homologados durante el período 1996 – 2000, que deben cumplir los límites de emisión de la Directiva 91/542/EEC.
- Euro III, vehículos homologados durante el período 2001 – 2005, que deben cumplir los límites de emisión de la Directiva 1999/96/EC.
- Euro IV, vehículos homologados durante el período 2006 – 2008.
- Euro V, vehículos homologados a partir de 2009.
- Euro VI (a partir de 2014).

Además, los vehículos de carga a diesel se subdividen en función de si son rígidos o articulados, así como en función del tonelaje:

- Rígidos:
 - Vehículos de carga ligera con peso menor a 3.5 Tn.
 - Vehículos de carga pesada con peso entre 3.5 – 7.5 Tn.
 - Vehículos de carga pesada con peso entre 7.5 – 12 Tn.
 - Vehículos de carga pesada con peso entre 12 – 14 Tn.
 - Vehículos de carga pesada con peso entre 14 – 20 Tn.
 - Vehículos de carga pesada con peso entre 20 – 26 Tn.

- Vehículos de carga pesada con peso entre 26 – 28 Tn.
- Vehículos de carga pesada con peso entre 28 – 32 Tn.
- Vehículos de carga pesada con peso mayor de 32 Tn.
- Articulados:
 - Vehículos de carga pesada con peso entre 14 – 20 Tn.
 - Vehículos de carga pesada con peso entre 20 – 28 Tn.
 - Vehículos de carga pesada con peso entre 28 – 34 Tn.
 - Vehículos de carga pesada con peso entre 34 – 40 Tn.
 - Vehículos de carga pesada con peso entre 40 – 50 Tn.
 - Vehículos de carga pesada con peso entre 50 – 60 Tn.

Factores de emisión

Un factor de emisión es un valor representativo de la cantidad de sustancia contaminante que se libera hacia la atmósfera con relación a la actividad asociada que la produce.

Los factores de emisión, usualmente, se expresan como el peso de contaminante dividido por la unidad de peso, producción, volumen, distancia o duración de la actividad asociada (por ejemplo; kilogramos de partículas emitidas por tonelada de carbón quemado). En muchos casos, estos factores son valores medios de los datos disponibles y normalmente se asume que son representativos a largo plazo para todas las actividades clasificables dentro de una categoría específica, con la asunción de que existe una relación lineal entre las emisiones y el nivel de actividad asociada, dentro de un rango probable de actuación.

Como los factores de emisión son valores medios, el cálculo de las emisiones mediante su aplicación será diferente a las emisiones reales. Las emisiones reales sólo se pueden conocer por medición directa en la fuente. De hecho, este es el procedimiento recomendable y preferido para la determinación de las emisiones. Sin embargo, es el método más costoso y normalmente sólo es aplicable a grandes infraestructuras en donde exista el equipamiento necesario para efectuar las medidas.

Para el cálculo de los factores de emisión para los vehículos de transporte de mercancías, son dependientes de los siguientes parámetros:

- Clasificación del parque móvil.
- Combustible.
- Tonelaje.
- Norma EURO.
- Velocidad de recorrido.
- Tipo de conducción.
- Urbana.

- Rural.
- Carretera.
- Pendiente del terreno.
- Porcentaje de carga del vehículo.

A continuación, se indican algunas de las expresiones de cálculo de cada grupo de contaminantes y consumo energético que considera la Guía EMEP/CORINAIR para los vehículos pesados de transporte de mercancías.

Factores de consumo de combustible

La tabla siguiente incluye las expresiones para la determinación de los factores de consumo de combustible para los vehículos pesados rígidos diesel para una pendiente del terreno llana y para una conducción en vacío (0 % de carga):

Tn	Norma EURO	Expresión de Cálculo (y: g/km; x: km/h)	a	b	c	d	e
3,5 - 7,5 Tn	EURO I	$y=((e+(a*\exp((-1)*b*x)))+(c*\exp((-1)*d*x)))$	0,398467612	-0,05085841	195,7501612	0,08151127	78,0794066
	EURO II	$y=((e+(a*\exp((-1)*b*x)))+(c*\exp((-1)*d*x)))$	0,707092531	-0,04480213	169,3977054	0,079606348	72,61773041
	EURO III	$y=((e+(a*\exp((-1)*b*x)))+(c*\exp((-1)*d*x)))$	1,01459486	-0,04122153	187,4573231	0,077274554	75,34240623
	EURO IV	$y=((e+(a*\exp((-1)*b*x)))+(c*\exp((-1)*d*x)))$	0,654281873	-0,0444122	190,7562851	0,081763445	73,05983024
	EURO V	$y=((e+(a*\exp((-1)*b*x)))+(c*\exp((-1)*d*x)))$	0,598290449	-0,04529767	196,3407081	0,081871199	74,405239
7,5 - 12 Tn	EURO I	$y=((a*(x^b)))+(c*(x^d))$	9,50809E-05	2,99460573	963,4645458	-0,551104473	
	EURO II	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,001814934	0,00023576	-2,0323E-06		
	EURO III	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,001565325	0,00022541	-1,9138E-06		
	EURO IV	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,001573581	0,00024153	-2,0346E-06		
	EURO V	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,001504804	0,00023722	-1,9831E-06		
12 - 14 Tn	EURO I	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,001241629	0,00021656	-1,7673E-06		
	EURO II	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,001488958	0,00022181	-1,8325E-06		
	EURO III	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,001269322	0,0002133	-1,7329E-06		
	EURO IV	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,001303949	0,00022761	-1,8371E-06		
	EURO V	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,001247839	0,00022375	-1,7926E-06		
14 - 20 Tn	EURO I	$y=((a*(x^b)))+(c*(x^d))$	0,000120536	2,93531285	1720,376382	-0,630159604	
	EURO II	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,000966094	0,00018196	-1,3807E-06		
	EURO III	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,000802091	0,00017369	-1,2846E-06		
	EURO IV	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,000816388	0,00018588	-1,3726E-06		
	EURO V	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,000784043	0,00018216	-1,3355E-06		
20 - 26 Tn	EURO I	$y=((e+(a*\exp((-1)*b*x)))+(c*\exp((-1)*d*x)))$	569,1154173	0,06539945	16111,81623	0,817995725	165,909351
	EURO II	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,000916497	0,00014164	-9,8097E-07		
	EURO III	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,000771112	0,00013667	-9,1804E-07		
	EURO IV	$y=((e+(a*\exp((-1)*b*x)))+(c*\exp((-1)*d*x)))$	517,6249028	0,063753	2785,126436	0,524776363	155,3149528
	EURO V	$y=((e+(a*\exp((-1)*b*x)))+(c*\exp((-1)*d*x)))$	530,706539	0,0633867	2704,528448	0,511855003	157,5882107
26 - 28 Tn	EURO I	$y=((e+(a*\exp((-1)*b*x)))+(c*\exp((-1)*d*x)))$	536,314406	0,06085709	13293,30913	0,767269784	174,1782064
	EURO II	$y=((e+(a*\exp((-1)*b*x)))+(c*\exp((-1)*d*x)))$	470,2376585	0,0597714	11125,39918	0,765239498	168,2839482
	EURO III	$y=((e+(a*\exp((-1)*b*x)))+(c*\exp((-1)*d*x)))$	504,9719653	0,05822239	1754,762654	0,431750343	173,0777797
	EURO IV	$y=((e+(a*\exp((-1)*b*x)))+(c*\exp((-1)*d*x)))$	482,8866543	0,05893251	2406,689187	0,483190451	162,2648561
	EURO V	$y=((e+(a*\exp((-1)*b*x)))+(c*\exp((-1)*d*x)))$	494,9015001	0,05851121	2363,009546	0,471142558	164,5432904
28 - 32 Tn	EURO I	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,000950001	0,00010863	-7,5588E-07		
	EURO II	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,00112545	0,00010916	-7,6999E-07		
	EURO III	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,000997862	0,00010599	-7,3129E-07		
	EURO IV	$y=((e+(a*\exp((-1)*b*x)))+(c*\exp((-1)*d*x)))$	489,3176345	0,06056355	10612,13801	0,780047364	186,7467138
	EURO V	$y=((e+(a*\exp((-1)*b*x)))+(c*\exp((-1)*d*x)))$	502,3550779	0,06004689	8992,975055	0,743233139	189,4882682
> 32 Tn	EURO I	$y=((e+(a*\exp((-1)*b*x)))+(c*\exp((-1)*d*x)))$	606,816643	0,06267214	15645,71544	0,786594281	187,4373862
	EURO II	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,000875321	0,00012065	-8,2347E-07		
	EURO III	$y=(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a)$	0,000745652	0,00011736	-7,775E-07		
	EURO IV	$y=((e+(a*\exp((-1)*b*x)))+(c*\exp((-1)*d*x)))$	544,0510038	0,06071967	3022,902299	0,516813354	174,4470583
	EURO V	$y=((e+(a*\exp((-1)*b*x)))+(c*\exp((-1)*d*x)))$	558,0761737	0,06035804	2946,185817	0,503652475	176,9432979

Tabla 11. Funciones de los factores de consumo de combustible (g/km) para vehículos pesados rígidos diesel (sin pendiente y sin carga)

Factores de emisión de SO₂

Los factores de emisión de SO₂ se establecieron directamente en función del contenido de azufre en los combustibles, asumiendo que todo el azufre se transforma íntegramente a SO₂.

El factor de emisión de SO₂ se establece por medio de la ecuación que sigue:

$$FE_{SO_2} = 2 \cdot C \cdot S$$

Donde:

FE_{SO_2} = factor de emisión de SO₂ (g/km).

C = consumo de combustible (g/km).

S = porcentaje de azufre en el combustible. (Se puede considerar un 0,015 % para gasolina y un 0,035 % para diesel).

Factores de emisión de CO₂

Los factores de emisión de CO₂ se establecieron directamente en función del contenido de carbono en los combustibles, asumiendo que todo el carbono finalmente se transforma a CO₂.

El factor de emisión de CO₂ por consumo de gasolina (una gasolina tipo de composición media CH_{1,8}) se establece por medio de la ecuación que sigue:

$$FE_{CO_{2g}} = 44 \cdot C / 13.8$$

Donde:

$FE_{CO_{2g}}$ = factor de emisión de CO₂ (g/km) por consumo de gasolina.

C = consumo de gasolina (g/km).

El factor de emisión de CO₂ por consumo de diesel (composición media CH₂) se establece por medio de la ecuación:

$$FE_{CO_{2d}} = 44 \cdot C / 14$$

Donde:

$FE_{CO_{2d}}$ = factor de emisión de CO₂ (g/km) por consumo de diesel.

C = consumo de diesel (g/km).

Posteriormente, hay una metodología más detallada que considera que no todo el carbono del combustible se transforma a CO₂, sino que también se transforma en CO, en COV o en estado elemental (EC).

La expresión detallada de cálculo del factor de emisión de CO₂ (g CO₂/km) es la siguiente:

$$E_{CO_2, j, m}^{CALC} = 44.011 \cdot \left(\frac{FC_{j, m}^{CALC}}{12.011 + 1.008r_{H, C, m} + 16r_{O, C, m}} - \frac{E_{j, m}^{CO}}{28.011} - \frac{E_{j, m}^{VOC}}{13.85} - \frac{E_{j, m}^{EC}}{12.011} - \frac{E_{j, m}^{OM}}{13.85} \right)$$

Los valores para calcular la relación de ratios de hidrógeno/carbono y la relación de ratios de oxígeno/carbono en función del tipo de combustible son las siguientes:

Fuel (<i>m</i>)	Chemical formula	Ratio of hydrogen to carbon	Ratio of oxygen to carbon
Gasoline	[CH _{1.8}] _x	r _{H,C} =1.80	r _{O,C} =0.0
Diesel	[CH ₂] _x	r _{H,C} =2.00	r _{O,C} =0.0
Ethanol	C ₂ H ₅ OH	r _{H,C} =3.00	r _{O,C} =0.5
Natural Gas	CH ₄ (95%)- C ₂ H ₆ (5%)	r _{H,C} =3.90	r _{O,C} =0.0
	CH ₄ (85%)- C ₂ H ₆ (15%)	r _{H,C} =3.74	r _{O,C} =0.0
LPG Fuel A	C ₃ H ₈ (50%)-C ₄ H ₁₀ (50%)	r _{H,C} =2.57	r _{O,C} =0.0
LPG Fuel B	C ₃ H ₈ (85%)-C ₄ H ₁₀ (15%)	r _{H,C} =2.63	r _{O,C} =0.0

Tabla 12. Valores de ratios H/C y de O/C en función del tipo de combustible

Factores de emisión de NO_x

La tabla siguiente presenta las expresiones para la determinación de los factores de emisión de NO_x para los vehículos pesados rígidos diesel para una pendiente del terreno llana y para una conducción a mitad de carga (50 % de carga):

Tn	Norma EURO	Expresión de Cálculo (y: g/km; x: km/h)	a	b	c	d	e
3,5 - 7,5 Tn	EURO I	$y=((a+(b*x))+(((c-b)*(1-\exp((-1)*d)*x))/d))$	3,07339304	8,13180354	0,02422007	-0,40715521	0,06587361
	EURO II	$y=((a+(b*x))+(((c-b)*(1-\exp((-1)*d)*x))/d))$	3,177625879	8,95291684	0,01949932	-0,46074235	0,06887108
	EURO III	$y=((a*(x^b))+c*(x^d))$	2,389631303	0,00737039	2,12572452	31,1925614	-0,7702357
	EURO IV	$y=((a*(b^x))*x^c)$	1,500334912	15,2832158	1,01661409	-0,80391813	
	EURO V	$y=((a*(b^x))*x^c)$	0,873458019	12,2272866	1,01807616	-0,90354825	
7,5 - 12 Tn	EURO I	$y=((a+(b*x))+(((c-b)*(1-\exp((-1)*d)*x))/d))$	4,627681458	14,0951273	0,01437773	-0,72754655	0,07071285
	EURO II	$y=((a+(b*x))+(((c-b)*(1-\exp((-1)*d)*x))/d))$	4,852500457	15,6632819	0,00905968	-0,85392155	0,07479533
	EURO III	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	3,760244268	9,44567823	0,07773576	29,6909678	0,35396612
	EURO IV	$y=((a*(b^x))*x^c)$	2,326210586	21,9275862	1,01106534	-0,71414031	
	EURO V	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	1,375817062	3,44099365	0,08475645	20,4435042	0,49935787
12 - 14 Tn	EURO I	$y=((a+(b*x))+(((c-b)*(1-\exp((-1)*d)*x))/d))$	5,095764255	16,149805	0,00591777	-0,82536098	0,0711531
	EURO II	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	5,368542135	12,0162763	0,07186883	1472,9743	1,22281171
	EURO III	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	4,240946939	8,83991867	0,05820954	32,8119093	0,32465558
	EURO IV	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	2,597053108	5,26904752	0,06495149	41,2441927	0,54563689
	EURO V	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	1,539875985	3,09561449	0,06120906	19,9266703	0,44408044
14 - 20 Tn	EURO I	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	6,25438717	14,0156843	0,0640838	57,1349912	0,54263816
	EURO II	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	6,662682932	14,6783994	0,06019238	36,2683501	0,41746338
	EURO III	$y=((a*(b^x))*x^c)$	5,34118503	78,9645942	1,00750502	-0,78409602	
	EURO IV	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	3,193750609	6,70093565	0,05572353	33,8550766	0,41446308
	EURO V	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	1,899856123	4,05363994	0,05396478	21,2354317	0,37429006
20 - 26 Tn	EURO I	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	7,917622515	14,6798879	0,0500997	96,6621931	0,54456081
	EURO II	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	8,359491543	16,1995769	0,04964951	53,9017333	0,42602697
	EURO III	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	6,654281005	13,8309716	0,04967318	45,2533994	0,29961621
	EURO IV	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	4,055226629	7,58115761	0,04874194	44,245572	0,44222651
	EURO V	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	2,405148584	4,64547355	0,0489889	27,4546877	0,40922168
26 - 28 Tn	EURO I	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	8,336099184	14,764943	0,04713967	93,369278	0,55073916
	EURO II	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	8,706624983	16,4001357	0,04781971	55,7002667	0,44467346
	EURO III	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	6,71857023	14,5724996	0,05104035	45,6518828	0,30924009
	EURO IV	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	4,172417883	7,88033925	0,04837252	53,3788421	0,48545605
	EURO V	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	2,450190025	4,94652716	0,0498434	32,5112841	0,44920593
28 - 32 Tn	EURO I	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	9,667403896	14,7377251	0,04398782	219,818938	0,69314572
	EURO II	$y=((a+(b*x))+(((c-b)*(1-\exp((-1)*d)*x))/d))$	10,11332372	30,6889655	-0,03806439	-1,4670175	0,07470056
	EURO III	$y=((a*(b^x))*x^c)$	7,831698244	82,27058	1,00501137	-0,66507203	
	EURO IV	$y=((a*(b^x))*x^c)$	4,911085119	32,9950566	1,00275826	-0,52213031	
	EURO V	$y=(1/(a+(b*(x^c))))$	2,904013842	-0,22144755	0,21399845	0,24853362	
> 32 Tn	EURO I	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	9,724208119	15,7360982	0,04158965	112,895238	0,55569158
	EURO II	$y=(a+b/(1+\exp(((c-1)*d)+d*\ln(x))))+(e*x))$	10,18576259	7,35023849	214,628095	-1,4098766	0,457996
	EURO III	$y=((a*(b^x))*x^c)$	8,075241193	78,7881567	1,00395633	-0,63276371	
	EURO IV	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	4,962027251	8,34487524	0,04236581	55,4711901	0,46541283
	EURO V	$y=((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+c*\exp((-1)*d)*x))$	2,92783256	5,15201122	0,04314486	32,2625797	0,42280101

Tabla 13. Funciones de los factores de emisión de NO_x (g NO_x/km) para vehículos pesados rígidos diesel (sin pendiente y 50 % carga)

Factores de emisión de COV

La tabla siguiente presenta las expresiones usadas para la determinación de los factores de emisión de COV para los vehículos pesados articulados diesel para una pendiente del terreno llana y para una conducción a carga total (100 % de carga):

Tn	Norma EURO	Expresión de Cálculo (y: g/km; x: km/h)	a	b	c	d	e	
14 - 20 Tn	EURO I	$y=(a+b/(1+\exp(((1)^*c)+(d*\ln(x))))+(e^*x))))$	0,344943626	0,17100213	3,11412467	3,657489428	1,58975334	-0,0060168
	EURO II	$y=((e+(a^*\exp(((1)^*b)^*x)))+(c^*\exp(((1)^*d)^*x)))$	0,209935752	0,50228009	0,0209656	1,898817982	0,11044826	0,11578969
	EURO III	$y=(a+b/(1+\exp(((1)^*c)+(d*\ln(x))))+(e^*x))))$	0,191560636	0,10910489	1,76248391	4,265600834	1,7953384	-0,0074552
	EURO IV	$y=(a+b/(1+\exp(((1)^*c)+(d*\ln(x))))+(e^*x))))$	0,009355112	0,00455636	0,1000616	4,368843086	1,87059409	-0,01049832
	EURO V	$y=(a+b/(1+\exp(((1)^*c)+(d*\ln(x))))+(e^*x))))$	0,009541722	0,00461114	0,10194357	4,382118827	1,87472865	-0,01067005
	EURO VI							
20 - 28 Tn	EURO I	$y=(a+b/(1+\exp(((1)^*c)+(d*\ln(x))))+(e^*x))))$	0,437741395	0,21569729	3,84959384	3,667953418	1,58911089	-0,0062767
	EURO II	$y=((e+(a^*\exp(((1)^*b)^*x)))+(c^*\exp(((1)^*d)^*x)))$	0,260963812	0,6378571	0,02088774	2,366803029	0,1129668	0,14073
	EURO III	$y=(a+b/(1+\exp(((1)^*c)+(d*\ln(x))))+(e^*x))))$	0,236761875	0,13431961	2,21932981	4,134599891	1,76485466	-0,00713297
	EURO IV	$y=(a+b/(1+\exp(((1)^*c)+(d*\ln(x))))+(e^*x))))$	0,011615701	0,00503141	0,12562768	4,346134532	1,88130666	-0,01253751
	EURO V	$y=(a+b/(1+\exp(((1)^*c)+(d*\ln(x))))+(e^*x))))$	0,011817498	0,00550132	0,12720517	4,375104304	1,88730391	-0,01179192
	EURO VI							
28 - 34 Tn	EURO I	$y=(a+b/(1+\exp(((1)^*c)+(d*\ln(x))))+(e^*x))))$	0,450072603	0,21332637	3,79786949	3,708029568	1,60057085	-0,0074359
	EURO II	$y=((e+(a^*\exp(((1)^*b)^*x)))+(c^*\exp(((1)^*d)^*x)))$	0,265280742	0,64402873	0,02083448	2,320733226	0,11237772	0,14336134
	EURO III	$y=(a+b/(1+\exp(((1)^*c)+(d*\ln(x))))+(e^*x))))$	0,236799885	0,13327965	2,20132573	4,050448988	1,73048771	-0,00654643
	EURO IV	$y=(a+b/(1+\exp(((1)^*c)+(d*\ln(x))))+(e^*x))))$	0,011593235	0,0051754	0,12366064	4,344479642	1,87768013	-0,01222999
	EURO V	$y=(a+b/(1+\exp(((1)^*c)+(d*\ln(x))))+(e^*x))))$	0,011780089	0,00551876	0,12630339	4,327604018	1,87136131	-0,01149126
	EURO VI							
34 - 40 Tn	EURO I	$y=((e+(a^*\exp(((1)^*b)^*x)))+(c^*\exp(((1)^*d)^*x)))$	0,509831579	1,81515553	0,03636036	4,16109705	0,14014523	0,41077754
	EURO II	$y=((e+(a^*\exp(((1)^*b)^*x)))+(c^*\exp(((1)^*d)^*x)))$	0,303501098	0,8605366	0,02255894	2,856592514	0,1194994	0,1617231
	EURO III	$y=((e+(a^*\exp(((1)^*b)^*x)))+(c^*\exp(((1)^*d)^*x)))$	0,260655119	0,68648965	0,02345038	2,797448175	0,11550019	0,15521541
	EURO IV	$y=(a+b/(1+\exp(((1)^*c)+(d*\ln(x))))+(e^*x))))$	0,013126402	0,00353308	0,16977492	3,76898014	1,71694581	-0,01174352
	EURO V	$y=(a+b/(1+\exp(((1)^*c)+(d*\ln(x))))+(e^*x))))$	0,013355935	0,00389888	0,17205448	3,801479326	1,72573299	-0,01145265
	EURO VI							
40 - 50 Tn	EURO I	$y=((e+(a^*\exp(((1)^*b)^*x)))+(c^*\exp(((1)^*d)^*x)))$	0,559126578	1,92290147	0,03750198	4,115987153	0,13917122	0,46334598
	EURO II	$y=((e+(a^*\exp(((1)^*b)^*x)))+(c^*\exp(((1)^*d)^*x)))$	0,325916571	0,88301186	0,0199679	2,970704944	0,11797321	0,14694454
	EURO III	$y=((e+(a^*\exp(((1)^*b)^*x)))+(c^*\exp(((1)^*d)^*x)))$	0,2803586	0,75049879	0,0256625	2,821215691	0,11925322	0,18382978
	EURO IV	$y=(a+b/(1+\exp(((1)^*c)+(d*\ln(x))))+(e^*x))))$	0,014021551	0,00218268	0,17700584	3,735187613	1,71001412	-0,01403215
	EURO V	$y=(a+b/(1+\exp(((1)^*c)+(d*\ln(x))))+(e^*x))))$	0,014194384	0,0009963	0,18501707	3,634890017	1,67678235	-0,01433057
	EURO VI							
50 - 60 Tn	EURO I	$y=((e+(a^*\exp(((1)^*b)^*x)))+(c^*\exp(((1)^*d)^*x)))$	0,642012457	1,99393005	0,03299819	4,715574339	0,13514607	0,49960745
	EURO II	$y=((e+(a^*\exp(((1)^*b)^*x)))+(c^*\exp(((1)^*d)^*x)))$	0,378019458	1,05771243	0,02160569	3,245859463	0,12214673	0,19002848
	EURO III	$y=((e+(a^*\exp(((1)^*b)^*x)))+(c^*\exp(((1)^*d)^*x)))$	0,319818157	0,84955506	0,02417401	3,124592486	0,12025692	0,19678201
	EURO IV	$y=(a+b/(1+\exp(((1)^*c)+(d*\ln(x))))+(e^*x))))$	0,015985715	0,00326188	0,19755301	3,682049614	1,69448175	-0,01334074
	EURO V	$y=(a+b/(1+\exp(((1)^*c)+(d*\ln(x))))+(e^*x))))$	0,016225222	0,00328638	0,20067781	3,714076588	1,70276394	-0,01340827
	EURO VI							

Tabla 14. Funciones de los factores de emisión de COV (g CH1.85/km) para vehículos pesados rígidos diesel (sin pendiente y 100 % carga)

Factores de emisión de CH₄

La tabla siguiente presenta las expresiones usadas para la determinación de los factores de emisión de CH₄ para vehículos pesados y autobuses en función del tipo de conducción (urbana, rural y carretera):

Vehicle Type	Fuel	Vehicle Technology/Class	CH ₄ Emission Factors (mg/km)			
			Urban		Rural	Highway
			Cold	Hot		
Heavy Duty Vehicles & Busses	Gasoline	All Technologies	-	140	110	70
		GVW<16t	-	85	23	20
	Diesel	GVW>16t	-	175	80	70
		Urban Busses & Coaches	-	175	80	70
	CNG	Euro I	-	6800		
		Euro II	-	4500		
		Euro III	-	1280		
		EEV	-	980		

Tabla 15. Factores de emisión de CH₄ (mg CH₄/km) para vehículos pesados y autobuses

Factores de emisión de metales pesados

La tabla siguiente presenta las expresiones usadas para la determinación de los factores de emisión de metales pesados en función del tipo de vehículo. Resaltar que dichos factores de emisión son en función de la cantidad de combustible gastado.

Category	Cadmium	Copper	Chromium	Nickel	Selenium	Zinc
Passenger cars, gasoline	0.01	1.7	0.05	0.07	0.01	1
Passenger cars, gasoline catalyst	0.01	1.7	0.05	0.07	0.01	1
Passenger cars, diesel	0.01	1.7	0.05	0.07	0.01	1
Passenger cars, LPG	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Light duty vehicles, gasoline	0.01	1.7	0.05	0.07	0.01	1
Light duty vehicles, gasoline catalyst	0.01	1.7	0.05	0.07	0.01	1
Light duty vehicles, diesel	0.01	1.7	0.05	0.07	0.01	1
Heavy duty vehicles, gasoline	0.01	1.7	0.05	0.07	0.01	1
Heavy duty vehicles, diesel	0.01	1.7	0.05	0.07	0.01	1
Motorcycles < 50cm ³	0.01	1.7	0.05	0.07	0.01	1
Motorcycles > 50cm ³	0.01	1.7	0.05	0.07	0.01	1

Tabla 16. Factores de emisión de metales pesados (g/km)

Factores de emisión de CO

La tabla siguiente presenta las expresiones usadas para la determinación de los factores de emisión de CO para los vehículos pesados articulados diesel para una pendiente del terreno llana y para una conducción a vacío (0 % de carga):

Tn	Norma EURO	Expresión de Cálculo (y: g/km; x: km/h)	a	b	c	d	e	
14 - 20 Tn	EURO I	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	1,943396948	8,792414964	0,05231364	13,43192677	0,177542639	1,809560104
	EURO II	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	0,893894558	4,504146434	0,05487347	5,077843235	0,209030496	0,838032721
	EURO III	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	0,76745039	3,286098402	0,0597613	4,14306532	0,260198336	0,739885228
	EURO IV	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	0,852785391	4,402298631	0,05509949	5,317225108	0,172633293	0,799159988
	EURO V	$y=(a+(b/(1+\exp(((1)*c)+(d*\ln(x))))+(e*x))))$	0,063570779	0,036725003	0,52241678	4,479927061	1,880039991	-0,010535701
	EURO VI	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	1,473292571	7,667656469	0,05899121	7,928640321	0,217425045	1,404885715
20 - 28 Tn	EURO II	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	1,137900728	5,58938588	0,0552883	7,380716808	0,22677696	1,070842467
	EURO III	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	0,955135504	3,727131862	0,05587074	5,824940485	0,273056799	0,912455318
	EURO IV	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	1,086638511	5,739301362	0,05652725	6,695643015	0,191317117	1,024277687
	EURO V	$y=(a+(b/(1+\exp(((1)*c)+(d*\ln(x))))+(e*x))))$	0,078859678	0,045041675	0,63944313	4,359161535	1,833433742	-0,009871576
	EURO VI	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	1,492546574	7,64847409	0,05873598	8,141202584	0,217640752	1,422903298
	EURO I	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	1,158973256	5,619980384	0,05551732	7,619085848	0,231958661	1,092772037
28 - 34 Tn	EURO III	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	0,980709353	3,720783304	0,05517015	6,478930094	0,284936765	0,93564565
	EURO IV	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	1,108610995	5,7440914	0,05639621	6,984578134	0,198360272	1,04554104
	EURO V	$y=(a+(b/(1+\exp(((1)*c)+(d*\ln(x))))+(e*x))))$	0,079652871	0,045265684	0,64904445	4,231144759	1,794436513	-0,009359288
	EURO VI	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	1,672452035	9,407599994	0,0589092	12,53087542	0,25618444	1,587970153
	EURO II	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	1,306851567	6,576069225	0,0547092	10,04027764	0,228751859	1,224214526
	EURO III	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	1,103992111	4,399651122	0,05648121	7,094719084	0,264866141	1,056012143
34 - 40 Tn	EURO IV	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	1,241223856	6,902112768	0,05594243	9,842267317	0,203009934	1,16263737
	EURO V	$y=(a+(b/(1+\exp(((1)*c)+(d*\ln(x))))+(e*x))))$	0,088705231	0,04491821	0,86054351	3,899071524	1,709954981	-0,008349915
	EURO VI	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	1,753032855	9,762882483	0,05925779	12,10647862	0,248144368	1,667771587
	EURO I	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	1,369165454	6,93346644	0,05563744	10,7673422	0,24082089	1,288273007
	EURO II	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	1,167937772	4,546384209	0,0563526	7,457731766	0,266196717	1,117844855
	EURO III	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	1,302663199	7,136136721	0,05582864	10,51143807	0,206854541	1,220669358
40 - 50 Tn	EURO IV	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	0,092700896	0,052536136	0,89306938	3,81982631	1,680165985	-0,006088101
	EURO V	$y=(a+(b/(1+\exp(((1)*c)+(d*\ln(x))))+(e*x))))$	2,006755349	11,14601114	0,05952712	15,43866986	0,270051089	1,911489881
	EURO VI	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	1,577034181	7,817668488	0,05549808	12,79477658	0,245183412	1,484803258
	EURO I	$y=1/(((c*(x^2))+b*x))+a$	1,381889312	0,057474169	0,01572652	-9,2492E-05		
	EURO II	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	1,506803168	8,04987806	0,05585116	12,30869594	0,21466241	1,41447735
	EURO III	$y=(a+(b/(1+\exp(((1)*c)+(d*\ln(x))))+(e*x))))$	0,106248227	0,053881121	1,01716278	3,757969502	1,667964315	-0,007968211
50 - 60 Tn	EURO IV	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	2,006755349	11,14601114	0,05952712	15,43866986	0,270051089	1,911489881
	EURO V	$y=(a+(b/(1+\exp(((1)*c)+(d*\ln(x))))+(e*x))))$	0,106248227	0,053881121	1,01716278	3,757969502	1,667964315	-0,007968211
	EURO VI	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	1,577034181	7,817668488	0,05549808	12,79477658	0,245183412	1,484803258
	EURO I	$y=1/(((c*(x^2))+b*x))+a$	1,381889312	0,057474169	0,01572652	-9,2492E-05		
	EURO II	$y=(e+(a*\exp((-1)*b)^x))+(c*\exp((-1)*d)^x)$	1,506803168	8,04987806	0,05585116	12,30869594	0,21466241	1,41447735
	EURO III	$y=(a+(b/(1+\exp(((1)*c)+(d*\ln(x))))+(e*x))))$	0,106248227	0,053881121	1,01716278	3,757969502	1,667964315	-0,007968211

Tabla 17. Funciones de los factores de emisión de CO (g CO/km) para vehículos pesados rígidos diesel (sin pendiente y 0 % carga)

Factores de emisión de PM

La tabla siguiente presenta las expresiones usadas para la determinación de los factores de emisión de PM para los vehículos pesados articulados diesel para una pendiente del terreno llana y para una conducción a media carga (50 % de carga):

Tn	Norma EURO	Expresión de Cálculo (y: g/km; x: km/h)	a	b	c	d	e	
14 - 20 Tn	EURO I	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,195545778	0,86898763	0,05280703	1,14859185	0,16987084	0,18282955
	EURO II	$y = ((a + (b * x)) + (((c - b) * (1 - \exp((-1)^d * x))) / d))$	0,114626545	0,39286133	0,00199175	-0,01402453	0,03423638	
	EURO III	$y = (a + (b / (1 + \exp(((c - 1)^d * x) + (d * \ln(x)))) + (e * x)))$	0,087340108	0,03331666	0,60164551	4,78536092	1,95046176	-0,01806809
	EURO IV	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,015192595	0,05863875	0,04130118	0,18478542	0,1605859	0,01303816
	EURO V	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,015395818	0,05937909	0,04116077	0,18822557	0,15988349	0,01318951
	EURO VI							
20 - 28 Tn	EURO I	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,260087433	1,10779449	0,05135042	1,64133767	0,19558058	0,24187496
	EURO II	$y = ((a + (b * x)) + (((c - b) * (1 - \exp((-1)^d * x))) / d))$	0,158384047	0,47164122	0,00994345	-0,01275406	0,01354388	
	EURO III	$y = (a + (b / (1 + \exp(((c - 1)^d * x) + (d * \ln(x)))) + (e * x)))$	0,113221136	-0,01712693	0,89643131	3,86742405	1,6236563	-0,01845498
	EURO IV	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,01886143	0,0785724	0,04280783	0,23504926	0,16723378	0,01630263
	EURO V	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,019116219	0,08059616	0,04293202	0,24048073	0,16839203	0,0165175
	EURO VI							
28 - 34 Tn	EURO I	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,273917238	1,10589393	0,0496628	1,68198616	0,20457445	0,25310811
	EURO II	$y = ((a * (x^2)) + (b * x)) + c$	0,174309939	8,9343E-05	-0,01094432	0,47806152		
	EURO III	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,114476406	0,46787238	0,050299	0,54646594	0,16710132	0,10610872
	EURO IV	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,018888766	0,07915016	0,04220782	0,23416667	0,16838228	0,01618447
	EURO V	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,01916534	0,08188521	0,04273944	0,23829269	0,16968585	0,01648411
	EURO VI							
34 - 40 Tn	EURO I	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,311882239	1,46918986	0,05036857	3,14198768	0,23667323	0,28575493
	EURO II	$y = ((a * (x^2)) + (b * x)) + c$	0,201885994	0,00010825	-0,01336272	0,57811502		
	EURO III	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,129800757	0,5770531	0,04851815	0,82753169	0,18362737	0,11790108
	EURO IV	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,021858839	0,10868415	0,04651506	0,24980478	0,17785159	0,019228
	EURO V	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,022147085	0,11000882	0,04624186	0,25584247	0,17727851	0,01942533
	EURO VI							
40 - 50 Tn	EURO I	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,349757581	1,52557896	0,0498504	3,33783403	0,24832797	0,32147921
	EURO II	$y = ((a * (x^2)) + (b * x)) + c$	0,227134823	0,00011784	-0,01456868	0,638435		
	EURO III	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,140869717	0,61594214	0,04847042	0,87692053	0,20096564	0,12811978
	EURO IV	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,023022325	0,11578594	0,04695832	0,2541431	0,17994389	0,02031725
	EURO V	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,023341747	0,11783674	0,04685218	0,2600396	0,17998825	0,02056528
	EURO VI							
50 - 60 Tn	EURO I	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,423474813	1,73974764	0,04853162	3,93362324	0,26333793	0,38763836
	EURO II	$y = ((a * (x^2)) + (b * x)) + c$	0,275322413	0,00014082	-0,01748628	0,7729497		
	EURO III	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,166969655	0,70028981	0,04762703	1,00900662	0,21667943	0,15146199
	EURO IV	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,026031949	0,13190552	0,04689102	0,28393144	0,18218162	0,02293367
	EURO V	$y = ((e + (a * \exp((-1)^b * x))) + (c * \exp((-1)^d * x)))$	0,026450977	0,13358137	0,04675679	0,28991383	0,18121691	0,02327945
	EURO VI							

Tabla 18. Funciones de los factores de emisión de PM (g PM/km) para vehículos pesados rígidos diesel (sin pendiente y 50 % carga)

Factores de emisión de N₂O

La expresión de cálculo del factor de emisión de N₂O varía en función del tipo de conducción, tal y como se muestra en la tabla:

Heavy Duty Vehicles	Urban	Rural	Highwat
Gasoline > 3.5 t	6	6	6
Diesel < 7.5 t	30	30	30
Diesel 7.5 t < W < 16 t	30	30	30
Diesel 16 t < W < 32 t	30	30	30
Diesel W > 32 t	30	30	30
Urban Buses	30	-	-
Coaches	30	30	30

Tabla 19. Funciones de los factores de emisión de N₂O (g N₂O/km) para vehículos pesados

3.2. Modelos de Estimación de Emisiones Contaminantes

3.2.1. Introducción

Como paso previo a la descripción de los modelos existentes para la estimación de emisiones contaminantes, se va a realizar un repaso a los diferentes tipos de contaminantes principales derivados de la actividad de los vehículos:

GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)

Los gases que promueven el efecto invernadero incluyen al vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2) el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), los hidrofluorocarbonos (HFCs), los perfluorocarbonos (PCFs) y el hexafluoruro de azufre (HF_6).

Algunos de estos gases son constituyentes naturales de la atmósfera (H_2O , CO_2 , CH_4 , N_2O), aunque las actividades industriales, el crecimiento de la población, el consumo de combustibles fósiles y la deforestación han contribuido fundamentalmente a incrementar sus concentraciones en el aire.

Con el fin de atenuar los potenciales efectos del incremento de la concentración de los gases de efecto invernadero; y dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la Comunidad Europea y otros 38 países adoptaron en diciembre de 1997 el Protocolo de Kioto [KIO1998], instrumento por medio del cual se busca reducir las emisiones de estos gases hacia el año 2012, tomando como referencia al año 1990.

Dentro de la CMNUCC, los países signatarios se comprometieron a elaborar, actualizar, publicar y facilitar los inventarios nacionales de las emisiones de origen antropogénico y de la absorción en sumideros de los GEI no controlados por el Protocolo de Montreal [MON2006]. Para ello, se utilizan las guías de cálculo elaboradas y publicadas por el IPCC. En este contexto, los inventarios de emisiones tienen un rol preponderante.

Vapor de agua

El vapor de agua, constituyente natural de la atmósfera es un GEI muy importante, no obstante su concentración está fundamentalmente definida por las condiciones de la atmósfera. Varía con la localización geográfica y el tiempo y su concentración oscila entre 0 y 4 % en volumen.

Dióxido de carbono (CO_2)

Las emisiones de CO_2 de los vehículos y los sistemas de transporte están aumentando en un significativo 2,5% anual a nivel mundial.

El CO_2 es un gas incoloro y sin sabor, que forma parte de la atmósfera terrestre y cuya concentración se ha incrementado desde 280 ppm en el año 1750, hasta 367 ppm en el año 1999. La concentración actual no ha sido excedida en los últimos 420.000 años y tampoco, probablemente, durante los pasados 20 millones de años. La tasa de

crecimiento en el periodo antes indicado no tiene precedentes similares, al menos durante los últimos 20.000 años.

El ciclo global del carbono se basa en un flujo importante entre diferentes fuentes y sumideros. Millones de toneladas de CO₂ se absorben (sumideros) anualmente desde el aire hacia los océanos y la biomasa (fotosíntesis de las plantas), y asimismo se emite (fuentes) una cantidad similar por procesos naturales (respiración de las plantas y descomposición de materia orgánica, principalmente). Hasta antes de la revolución industrial el flujo entre fuentes y sumideros se mantenía en esencia equilibrado.

Sin embargo, desde el inicio de la revolución industrial hasta la actualidad, con el ritmo acelerado del uso de los combustibles fósiles (carbón mineral, petróleo y sus derivados, gas natural), así como por la deforestación y cambios en el uso del suelo, el incremento de la población, el advenimiento del automóvil y la mayor demanda de recursos energéticos; el hombre ha alterado este equilibrio y ha provocado el incremento de la concentración de CO₂ en la atmósfera, dentro de una escala de tiempo relativamente corta. La vida media de una molécula de CO₂ en la atmósfera es variable, entre 5 - 200 años.

La Tierra refleja de manera muy aproximada el 30 % de la radiación que le llega del Sol. En la troposfera, los GEI absorben parte de la energía infrarroja (onda larga) que irradia la Tierra, atrapando una cantidad de calor (efecto invernadero) que determina que la temperatura media del planeta sea de 15°C.

El incremento de la concentración de CO₂ y otros gases, por causas de tipo antropogénico, promueve el incremento del efecto invernadero, y por tanto de la temperatura media del planeta. El Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) indica que, durante los últimos 100 - 140 años, la temperatura global de la superficie del planeta se ha incrementado en $0,6 \pm 0,2$ °C. Se disponen de datos obtenidos por medio de satélite que indican una reducción muy probable del 10 % en la cobertura de nieve desde 1960.

Por medio de mediciones realizadas en la superficie terrestre se puede establecer una reducción muy probable de 2 semanas de la duración anual de la capa de cobertura de hielo en ríos y lagos en las latitudes medias altas del hemisferio norte. El nivel del mar promedio se ha incrementado entre 0,1 y 0,2 cm.

Metano (CH₄)

El metano es el más abundante de los hidrocarburos en la atmósfera. Es un gas que se genera por la estabilización biológica de la materia orgánica en ambientes anaerobios. Más del 50 % de sus emisiones son de origen antropogénico y provienen fundamentalmente del uso de combustibles fósiles, actividades ganaderas, siembras de arroz y vertederos. Adicionalmente, se produce en el interior del suelo como consecuencia de la descomposición del carbón fosilizado. Los principales sumideros del CH₄ incluyen reacciones químicas lentas y deposición seca.

El metano es un gas poco reactivo, su vida media se estima en 12 años. Es el principal componente del gas natural.

La concentración de CH₄ en la atmósfera se ha incrementado desde 700 ppb (hacia el año 1750) hasta 1745 ppb (en el año 1998) y el incremento continúa.

Óxido nitroso (N₂O)

El óxido nitroso es un gas incoloro que casi en su totalidad se emite desde fuentes naturales, principalmente por la actividad bacteriana en el suelo. Otras fuentes de menor importancia constituyen el quemado de biomasa, actividades agrícolas y procesos industriales. El sumidero más importante se debe a las reacciones químicas atmosféricas.

El tiempo medio de vida estimado del N₂O es de 114 años. La concentración de N₂O se ha incrementado desde 270 ppb (hacia el año 1750) hasta 314 ppb (en el año 1998) y el incremento continúa.

Hidrofluorocarbonos (HFCs), Perfluorocarbonos (PFCs) y Sexafluoruro de azufre (SF₆)

Los hidrofluorocarbonos (compuestos que contienen hidrógeno, carbono y flúor), los perfluorocarbonos (compuestos que contienen flúor y carbono) y el sexafluoruro de azufre son compuestos de interés en razón de que tienen valores altos de potencial de calentamiento global y largos tiempo de residencia en la atmósfera.

Las emisiones de estas sustancias se relacionan con su uso comercial o por ser un residuo de ciertos procesos industriales. Los PFCs son compuestos de origen antropogénico, no se ha encontrado hasta la fecha la existencia de fuentes naturales.

Algunos campos de aplicación y uso de los HFCs y PFCs incluyen la industria de la refrigeración y aire acondicionado, dispositivos para el control de incendios, aerosoles, disolventes de limpieza, propelentes de espuma, equipos de esterilización, disolventes para la elaboración de revestimientos, adhesivos y tintas.

El SF₆ se utiliza en la industria como elemento aislante, como trazador en la detección de vertidos y en variadas aplicaciones electrónicas.

Los GEI tienen diferente capacidad para absorber el calor en la atmósfera. Los HFCs, los PFCs y el SF₆ poseen una gran capacidad de absorción por molécula.

Potencial de Calentamiento Global (PCG)

El Potencial de Calentamiento Global es utilizado para medir la capacidad que tienen diferentes gases de efecto invernadero en la retención del calor en la atmósfera, y define el efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce hoy una liberación instantánea de 1 kg de un gas de efecto invernadero, en comparación con el causado por el CO₂, que es la base para todos los cálculos y su PCG es medida en 1. De esta forma, se pueden tener en cuenta los efectos de cada gas, así como sus diferentes periodos de permanencia en la atmósfera, de manera que cuanto más alto sea el PCG que produce un gas, mayor será su capacidad de retención del calor en la atmósfera. Entonces podemos afirmar que cuánto más altos sean los índices de PCG en la atmósfera más rápido se producirá el cambio climático.

A medida que transcurre el tiempo, los PCG que producen el efecto invernadero van disminuyendo en su influencia, pero otro es el caso con los gases fluorados con un alto nivel de concentración de calor y por consiguiente lleva mucho tiempo erradicar su efecto. Lo que es aún peor, los gases fluorados son creados exclusivamente por el ser

humano, y no hay proceso natural alguno para removerlos paulatinamente de la atmósfera.

La siguiente tabla indica la capacidad de retención del calor de los gases de efecto invernadero en comparación con el dióxido de carbono (CO₂) en un período de 20 y 100 años.

COMPUESTO		POTENCIAL DE CALENTAMIENTO ATMOSFÉRICO	
		Después de 20 años	Después de 100 años
Dióxido de Carbono (CO₂)		1	1
Metano (CH₄)		62	23
Óxido Nitroso (N₂O)		275	296
Hidrofluorocarburos (HFCs)	HFC-23	9.400	12.000
	HFC-125	5.900	3.400
	HFC-134a	3.300	1.300
	HFC-143a	5.500	4.300
Perfluorocarbonos (PFCs)	CF ₄	3.900	5.700
	C ₂ F ₆	8.000	11.900
Hexafluoruro de Azufre (HF₆)		15.100	22.200

Tabla 20. *Potencial de Calentamiento Global de los principales gases de efecto invernadero [PIK2012]*

CONTAMINANTES PRIMARIOS

Los contaminantes primarios son aquellos que se emiten directamente a la atmósfera desde las diferentes fuentes de emisión.

Estos contaminantes primarios son óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), partículas (PM) y metales pesados (Cd, Cu, Cr, Ni, Se, Zn).

Óxidos de nitrógeno (NO_x)

El óxido nítrico (NO) es un gas incoloro que se genera por la reacción entre el N₂ y el O₂ del aire durante los procesos de combustión, así como por la oxidación del nitrógeno que forma parte de los combustibles. El dióxido de nitrógeno (NO₂), que se

forma a partir de la oxidación del NO, es un gas de color café rojizo, irritante, tóxico en altas concentraciones y muy reactivo. En elevadas concentraciones puede irritar los alvéolos e incrementar el riesgo de infecciones pulmonares. El NO tiene efectos perjudiciales sobre la salud, pero estos efectos son apreciablemente menores en comparación con una cantidad equivalente de NO₂.

Se utiliza el término “óxidos de nitrógeno” (NO_x) para denominar principalmente la suma de NO y NO₂ y en menor cantidad otros óxidos de este elemento (se incluyen N₂O₃, N₂O₄, NO₃, N₂O y N₂O₅). Desempeñan un rol preponderante en la formación del ozono troposférico. Las emisiones más importantes provienen de los procesos de combustión, tales como los que ocurren al interior de los motores de los vehículos.

Los NO_x se hidratan en la atmósfera y forman ácido nítrico HNO₃, compuesto que se arrastra con la lluvia o se deposita por gravedad, formando parte de la denominada lluvia o deposición ácida.

Dióxido de azufre (SO₂)

El SO₂ se forma fundamentalmente por la combustión de combustibles fósiles que contienen azufre (principalmente el carbón y el diesel).

El SO₂ es un gas incoloro, no inflamable y no explosivo que produce una sensación agradable a concentraciones de 260 a 860 µg/m³ en el aire. Es un gas irritante a concentraciones mayores de 860 µg/m³, provoca alteraciones en las mucosas de los ojos y de las vías respiratorias. Afecta las defensas del sistema respiratorio y agrava el padecimiento de enfermedades cardiovasculares. Los grupos más sensibles a su exposición son los niños, las personas de edad avanzada, así como los individuos que sufren asma, problemas cardiovasculares o enfermedades crónicas del sistema respiratorio (como bronquitis o enfisema).

En contacto con la humedad del aire, forma ácido sulfúrico H₂SO₄, que se arrastra con la precipitación o se deposita, provocando la acidificación de los suelos, lagos y ríos, con efectos negativos en la vegetación, la aceleración de la corrosión de edificios y monumentos.

También forma partículas secundarias en la atmósfera (gotitas de niebla de ácido sulfúrico), que dispersan la luz y contribuyen con el deterioro de la visibilidad.

Monóxido de carbono (CO)

El CO es un gas incoloro, inodoro y venenoso, que se forma cuando los combustibles no se oxidan completamente. Es uno de los principales gases contaminantes que se emiten por los tubos de escape de los vehículos. En las zonas urbanas, un porcentaje muy alto de la presencia de CO se debe normalmente a las emisiones por el tráfico vehicular. Otra fuente importante son los procesos industriales de combustión

El CO tiene una alta afinidad por la hemoglobina de la sangre, que es la sustancia que distribuye el oxígeno hacia los órganos y tejidos. Cuando el oxígeno es desplazado por el CO pueden haber efectos negativos que van desde alteraciones del flujo sanguíneo y del ritmo cardíaco, perturbaciones visuales, dolores de cabeza,

reducción de la capacidad laboral, reducción de la destreza manual, vómitos, desmayo, convulsiones, coma, hasta la muerte por asfixia; según la dosis de la exposición. Las personas que padecen de problemas cardiovasculares son más sensibles a su exposición.

La emisión de CO produce problemas de contaminación del aire de tipo interior y exterior. En términos de muertes accidentales por asfixia, son mucho más críticas las concentraciones, y por tanto las exposiciones, que se generan en el interior de viviendas y espacios cerrados.

Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Algunas regulaciones de la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos definen a los COV como aquellos compuestos orgánicos que tienen una presión de vapor a temperatura ambiente (25 °C) mayor que 0,01 kPa.

Otra definición establece que los COV son sustancias que contienen carbono orgánico (carbono enlazado a carbono, hidrógeno, nitrógeno o azufre, pero no carbono carbonato como el CaCO_3 , ni carbono carburo como CaC_2 ni CO o CO_2) cuyas presiones de vapor a temperatura ambiente son mayores, alrededor de 0,0007 atm y cuyos puntos de ebullición son hasta de 260 °C.

Las principales fuentes antropogénicas de COV son los procesos de combustión que provienen fundamentalmente del tráfico y las industrias, así como la evaporación por la gestión y almacenamiento de los combustibles en reservas, en el llenado de vehículos y uso de disolventes. La principal fuente biogénica de emisión son los sistemas agroforestales, y en menor proporción, las masas de agua, las campos agrícolas y los procesos de fermentación bacteriana.

Las fuentes naturales liberan cantidades importantes de COV (especialmente isopreno y monoterpenos), que se caracterizan por ser altamente reactivos y participar activamente en el fenómeno de la niebla fotoquímica.

El uso de disolventes y de compuestos químicos en el hogar y en la oficina (perfumes, sustancias para abrillantar muebles, gomas, tintes, barnices, preservantes de la madera, pesticidas, sustancias para lavado en seco e insecticidas) constituye una fuente importante de COV.

Los COV producen irritación de los ojos, nariz y garganta. En casos más severos de exposición provocan dolores de cabeza, pérdida de coordinación y náuseas. En exposiciones de tipo crónica, algunos COV afectan al hígado, a los riñones y al sistema nervioso central. Algunos COV se clasifican como sustancias tóxicas y peligrosas por su capacidad probada o potencial de ser cancerígenas o de causar graves daños a la salud (como el benceno; 1,3 butadieno; cloroformo; formaldehído, hexaclorobenceno, tetracloroetileno, tetracloruro de carbono).

Partículas (PM)

Se refiere a la mezcla de partículas sólidas y líquidas que se encuentran en el aire. Se emiten directamente desde diferentes fuentes (partículas primarias) o se forman por la condensación de los contaminantes gaseosos.

Una vez en el aire, las partículas pueden cambiar en concentración, en tamaño y en forma.

Las partículas más grandes no permanecen por largo tiempo en la atmósfera y se depositan cerca de la fuente de emisión. A éstas se les denomina partículas sedimentables. Por el contrario, las partículas más pequeñas (partículas en suspensión) pueden desplazarse en largas distancias e ingresan fácilmente al organismo por medio de la respiración. Causan irritación en los ojos, nariz y garganta. Las más grandes (diámetro $\geq 10 \mu\text{m}$) pueden ingresar hasta la nariz y garganta. Sin embargo, las partículas muy pequeñas pueden entrar fácilmente hasta los pulmones y desde allí ser absorbidas directamente al torrente sanguíneo. Estas partículas suelen tener un diámetro menor de $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}).

En estudios realizados en los Estados Unidos, se demuestra un incremento de muertes a causa de enfermedades de tipo respiratorio y cardiovascular, cuando ha habido mayor inhalación de PM_{10} . Las campañas de monitoreo realizadas a nivel europeo muestran concentraciones significativas en varios países. Las emisiones de PM_{10} suelen proceder principalmente desde las vías (con o sin pavimento), por erosión eólica, cosechas agrícolas y actividades de construcción.

Se definen como partículas finas aquellas que tienen un diámetro menor $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$). Se emiten por la combustión en los motores de vehículos, la generación eléctrica en centrales térmicas, los procesos industriales, o desde las chimeneas residenciales y estufas de madera. Se asocian con la reducción de la visibilidad, especialmente cuando su tamaño oscila entre $0,4$ y $0,8 \mu\text{m}$, que corresponde al rango de longitud de onda de la luz visible.

Metales Pesados (Cd, Cu, Cr, Ni, Se, Zn)

No todos los metales de densidad alta son especialmente tóxicos en concentraciones normales (algunos de ellos son necesarios para el ser humano). No obstante hay una serie de metales pesados más conocidos por su tendencia a representar serios problemas medioambientales como el cadmio (Cd), el cobre (Cu), el cromo (Cr), el níquel (Ni), el selenio (Se) o el zinc (Zn) que son los que se van a tratar en este Proyecto Fin de Carrera.

La peligrosidad de los metales pesados es elevada, ya que no pueden ser degradados ni química ni biológicamente y, además, tienden a bioacumularse y a biomagnificarse, es decir, se acumulan en los organismos vivos alcanzando concentraciones mayores que la que alcanzan en los alimentos o medioambiente, estas concentraciones aumentan a medida que ascendemos en la cadena trófica, provocando efectos tóxicos de muy diverso carácter. En el ser humano se han detectado infinidad de efectos físicos y psíquicos: dolores crónicos, problemas sanguíneos, ansiedad, pasividad, retrasos en el desarrollo, varios tipos de cáncer, daños en el riñón, e, incluso, casos de muerte.

3.2.2. Modelos de Emisiones Contaminantes

Un modelo de estimación de emisiones atmosféricas se puede definir como el modelo matemático (o el conjunto integrado de modelos matemáticos de diferente grado de complejidad) que sirven para estimar las emisiones hacia la atmósfera, desde diferentes fuentes ubicadas en una zona geográfica determinada, en un periodo de tiempo establecido.

La estimación de las emisiones de tráfico vehicular es bastante complejo ya que interfieren una serie de factores como el peso de los vehículos, la capacidad, diseño y condiciones de funcionamiento de los motores, el tipo y características de los combustibles, el rendimiento de los dispositivos de control de las emisiones del escape, la variabilidad de los ciclos reales de recorrido, o las características de la red vial (como la pendiente). Por tanto, el desarrollo de modelos es complejo. Estas herramientas se van adaptando continuamente con el objeto de obtener inventarios que se asemejen cada vez más a los verdaderos valores de emisión.

Los modelos de estimación de gases de efecto invernadero van íntimamente ligados a los modelos de estimación de emisiones contaminantes primarias, por lo que se van a tratar conjuntamente con dichos contaminantes.

A continuación, se describen varios de los modelos de estimación de emisiones existentes, destacando a nivel Europeo el modelo de enfoque top-down EMEP/CORINAIR-COPERT [NTZ2000], englobando las emisiones de gases de efecto invernadero junto con las emisiones de gases contaminantes primarios.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EEUU)

El programa Emission Inventory Improvement Program (EIIP), que pertenece a la EPA de los Estados Unidos, se estableció en 1993 para promover el desarrollo y uso de procedimientos para recopilar, calcular, almacenar, presentar y compartir información sobre las emisiones atmosféricas.

Los documentos del EIIP se incluyen dentro de la herramienta de gestión de información sobre emisiones Air Chief (Air Clearing House For Inventories And Emission Factors) que la EPA actualiza anualmente. La última versión disponible es Air Chief 10 [USE2005].

El grupo Emission Factor and Inventory Group (EFIG) es responsable de recopilar la información sobre las emisiones atmosféricas y estructurar los inventarios nacionales en los Estados Unidos. Este grupo desarrolla, mantiene, actualiza y amplía sistemáticamente una serie de documentos que incluyen una variedad de factores de emisión (Compilation of Air Pollutant Emission Factors AP-42) que se incluye dentro de Air Chief y que se puede consultar fácilmente con la herramienta de gestión FIRE (Factor Information Retrieval).

Hay que resaltar que los factores de emisión que contempla son exclusivamente para fuentes fijas de emisión, por lo que no considera las emisiones procedentes de fuentes móviles como son los vehículos, por lo que no son modelos válidos para lograr el objetivo perseguido en el presente proyecto.

GUÍAS DEL IPCC PARA EL INVENTARIO DE EMISIONES DE GEI

El IPCC fue creado por la World Meteorological Organization (WMO) y el United Nations Environment Program (UNEP) en 1988, con el objetivo de evaluar la información científica, técnica y socioeconómica para un mejor entendimiento de la influencia antropogénica en el cambio climático.

El IPCC está conformado por tres grupos de trabajo y un grupo operativo. El primer grupo evalúa la información científica sobre el sistema climático y el cambio climático. El segundo grupo trata sobre la vulnerabilidad (impactos y adaptación) de los sistemas naturales y socioeconómicos con relación a los efectos del cambio climático. El tercer grupo analiza las opciones y alternativas para limitar la emisión de GEI y la manera de mitigar sus efectos. El grupo operativo supervisa el IPCC National Greenhouse Gas Inventories Program (IPCC-NGGIP), cuyos principales objetivos son:

- Desarrollar metodologías y software de aceptación internacional, para el cálculo y presentación de los inventarios nacionales de los GEI.
- Fomentar el uso generalizado de estas metodologías por parte de los países que suscribieron el CMCCNU.

Inicialmente, se desarrollaron los documentos IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories que luego fueron reemplazados por las guías Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

Estos documentos incluyen criterios para el cálculo de las emisiones atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (NMVOC), halo carbonos (HFC_s, PFC_s), hexafluoruro de azufre (SF₆) y dióxido de azufre SO₂.

Como complemento, los documentos Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories; que fueron aprobados y publicados por el IPCC en el año 2000, proporcionan criterios para el desarrollo de inventarios transparentes, documentados, consistentes, comparables, que incluyan una evaluación de la incertidumbre, que se desarrollen bajo un protocolo de control de calidad y seguridad.

Las guías incluyen también algunos factores de emisión para el cálculo de las emisiones de CO, NO_x, SO₂, y NMCOV, muchos de ellos tomados a su vez de EMEP/CORINAIR y EPA.

Al igual que en el caso de las guías de la EPA, sólo contempla emisiones de fuentes fijas de emisión, por lo que tampoco es un modelo válido.

PROGRAMA COST (EUROPEAN CO-OPERATION IN THE FIELD OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL RESEARCH)

La acción 319 [COS1999] se desarrolló con el objetivo de coordinar a nivel europeo las actividades de investigación sobre la emisión de contaminantes gaseosos, el consumo de combustible y el uso de la energía en el sector del transporte [INR1999].

Como parte de esta acción, se desarrolló el proyecto MEET (Methodologies for Estimating Air Pollutants Emissions from Transport) cuyos principales resultados

establecieron guías para el cálculo de las emisiones, aceptadas por la mayoría de los expertos europeos.

Parte de estos resultados se han incorporado en la metodología EMEP/CORINAIR para el cálculo de emisiones gaseosas provenientes del tráfico vehicular,

METODOLOGÍA EMEP/CORINAIR

Esta metodología ha sido explicada en el punto 3.1.4 (Modelos de Consumo de Combustible basados en la velocidad media) ya que, como se ha dicho, tiene en cuenta el cálculo tanto de emisiones contaminantes primarios y gases de efecto invernadero como el consumo de combustible.

3.3. Biblioteca de Actuaciones en Auditorías Energéticas de Flotas

3.3.1. Introducción

Las propuestas de medidas de actuaciones diseñadas y a poner en práctica deben conducir a la consecución de la mejora de la eficiencia de la flota de vehículos considerando el punto de vista de la sostenibilidad.

Cada una de las medidas debe ser factible y adaptarse a las necesidades reales en base a los problemas detectados en el análisis y diagnóstico. Las medidas son realmente útiles sólo si se adaptan a la realidad y a la problemática que se intenta solucionar, y a la vez, permiten una mejora de la eficiencia energética, ahorro de combustible y calidad medioambiental.

Para cada medida es importante redactar un documento detallado y que incluya el desarrollo pormenorizado de la misma. Los parámetros de caracterización de medidas que deben incluir dichos documentos son los siguientes:

- Descripción de la medida.
 - Factores de influencia.
 - Criterios de éxito.
 - Posibles barreras.
- Agentes implicados.
- Recursos necesarios (ejecución y mantenimiento).
- Etapas de implementación (cronograma).
- Plazos de implantación: corto, medio, largo.
- Estudio de viabilidad técnica, económica (costes e ingresos) y análisis de aspectos operativos, temporales, energéticos (ahorro combustible) y medioambientales (emisiones contaminantes y GEI).
- Mecanismos de gestión y coordinación.

Para cada una de las medidas de actuación diseñadas, así como para el conjunto de ellas, se debe estimar la mejora ambiental (reducción de emisiones de CO₂) y energética (ahorro en consumo de litros de combustible) que supone para la flota de vehículos, mediante un balance energético y medioambiental aplicado entre la situación inicial y la situación futura previsible con la puesta en marcha de las medidas de actuación. Si bien, en la actualidad sólo se cuantifica la reducción de litros totales de combustibles y emisiones de CO₂ (en un número pequeño de casos), por lo que la metodología a diseñar en el presente proyecto fin de carrera pretende resolver este matiz y permitir que el cálculo de la estimación del impacto energético y medioambiental por la puesta en marcha de actuaciones de mejora en la flota de vehículos sea completo.

3.3.2. Ámbitos de Actuación y Medidas de Mejora

Los principales ámbitos de actuación que se consideran en las Auditorías Energéticas de Flotas de Transporte son las siguientes:

- Operaciones.
- Sistemas Telemáticos.
- Vehículos.
- Conductores.
- Sistema de Propulsión.

En la siguiente tabla se plantean una serie de medidas de mejora para cada uno de los ámbitos anteriores, con el objetivo de optimizar la flota de transporte desde el punto de vista de la eficiencia energética, ahorro en litros de combustible y calidad medioambiental, a corto, medio y largo plazo.

Ámbito de actuación	Medidas de mejora
Operaciones	Optimización de rutas Optimización de servicios Gestión de costes Plan de mantenimiento Optimización de recursos Plan de gestión de combustible Maximización de capacidad de vehículos
Sistemas Telemáticos	Seguimiento y control mediante GPS
Vehículos	Mejoras aerodinámicas Limitadores de velocidad Elementos complementarios al motor
Conductores	Formación en conducción eficiente Campaña contra el ralenti Motivación e incentivos al personal
Sistema de Propulsión (Plan de renovación de vehículos)	Biocarburantes Gas natural Autogás Vehículo eléctrico Hidrógeno

Tabla 21. Medidas de Mejora para los diferentes ámbitos de actuación.

ÁMBITO: OPERACIONES

• *Optimización de rutas*

Descripción: Diseño de rutas de transporte que respondan a las necesidades funcionales detectadas según criterios energéticos y medioambientales, proponiendo rutas de mínimo recorrido de circulación.

Justificación:

- Reducir longitud total de desplazamientos, minimizando el recorrido en cada una de las rutas definidas.
- Reducir costes de operación.
- Mejorar calidad del servicio.
- Reducir el impacto ambiental.
- Minimizar uso de recursos.
- Reducir tiempos de viaje.

• *Optimización de servicios*

Descripción: Cambio de ventanas de horarios de entrega, estableciendo criterios para minimizar la afectación del tráfico en las operaciones de transporte, de manera que se disminuya en la mayor medida posible la estancia en atascos y en zonas congestionadas. Posibilidad del reparto nocturno, con el problema del ruido generado en carga y descarga de mercancía.

Justificación:

- Aumentar velocidad media en recorridos, reduciendo tiempos de viaje.
- Aumentar productividad por vehículo.
- Mejorar calidad del servicio.
- Incremento de competitividad.

• *Gestión de Costes*

Descripción: Diseño de un sistema de gestión de costes, que permita una mejor planificación mediante control presupuestario, permitiendo conocer los diferentes costes de la unidad económica y evaluar sus elementos económicos así como ayudar a establecer un programa de reducción de costes. El sistema de gestión clasifica los costes mediante un centro de costes, donde se estudian los gastos asociados a cada uno de ellos, comparando gastos reales con presupuestados, de manera que una vez investigadas las causas de diferencias, se definan medidas para ajustarse al presupuesto prefijado.

Justificación:

- Ayudar en la toma de decisiones para incrementar la rentabilidad.
- Cuantificar los costes de los servicios para la elaboración de las cuentas.

- Proporcionar información útil respecto a la eficiencia de los procesos internos.

- ***Plan de Mantenimiento***

Descripción: El mantenimiento del parque vehicular consiste en proporcionar a los vehículos reparaciones, recambios y mano de obra por parte de personal de taller, con el fin de que esté siempre en su nivel máximo de operación mecánica. Por tanto, la medida contempla la optimización de un plan de mantenimiento que proporcione las pautas a seguir para una correcta planificación, control y seguimiento de las operaciones de mantenimiento que permita aumentar la disponibilidad de los vehículos con el menor coste posible. Entre otros, se considerarán los sistemas de conservación y de reabastecimiento, sistemas de inspecciones periódicas de seguridad y sistemas de mantenimiento predictivo. Otra consideración añadida es establecer una estrategia de mantenimiento preventivo, evitando en la mayor medida de lo posible operaciones de mantenimiento correctivo. Implantar hábitos de chequeos previos a la conducción, tales como controlar la presión de neumáticos, niveles de líquido, etc., de manera que exista un control en base a hojas de chequeo y anomalías. Con un correcto sistema de gestión del mantenimiento, puede conseguirse un aumento considerable de la disponibilidad de los vehículos, que aparte de asegurar el uso de los mismos, permite aumentar el ciclo de vida económico del vehículo.

Justificación:

- Minimizar costes de mantenimiento a largo plazo.
- Reducir la cantidad de averías.
- Reducir la posibilidad de accidentes.
- Asegurar que los vehículos operan de forma eficiente.
- Aumentar la disponibilidad del parque de vehículos de la flota.
- Aumentar ciclo de vida de los vehículos.

- ***Optimización de recursos***

Descripción: Diseño eficiente de las jornadas de trabajo, de manera que se asignen los vehículos más sostenibles de la flota a las rutas más ineficientes, así como asignar los conductores más eficientes a los vehículos más ineficientes.

Justificación:

- Reducir distancias recorridas en vehículos más ineficientes.
- Aumentar productividad de vehículos más eficientes.
- Reducir consumo energético.

- ***Plan de gestión de combustible***

Descripción: Los costes asociados al combustible son uno de los más importantes en el transporte de mercancías, por lo que merecen una especial atención en cuanto al control del mismo a través de un programa establecido de gestión del combustible, basado en la detección de los factores que más influyen en el consumo (conductores, vehículos, carga, condiciones del tráfico, etc.) y actuar de forma eficiente, reduciendo los costes asociados, de manera que se defina un sistema óptimo de gestión de combustible. Se incluye desde el proceso de adquisición del combustible, la gestión de tanques de almacenamiento así como el seguimiento del consumo de combustible en las rutas definidas.

Justificación:

- Aprovechar al máximo cada litro de combustible.
- Reducir los costes asociados a la gestión del combustible.
- Reducir el impacto ambiental.

- ***Maximización de capacidad de carga de vehículos***

Descripción: Se considera la consolidación de mercados que permitan reducir el recorrido en vacío en recorridos de vuelta, así como el aprovechamiento de la capacidad máxima de transporte de los vehículos, maximizando la carga total a transportar. A su vez, se incluye la evaluación del número de vehículos necesarios para satisfacer la demanda de servicios.

Justificación:

- Reducir los kilómetros recorridos sin carga.
- Maximizar la carga transportada.

ÁMBITO: SISTEMAS TELEMÁTICOS

- ***Seguimiento y control mediante GPS***

Descripción: La implantación de sistemas de seguimiento basados en GPS son una herramienta idónea para el control de las operaciones realizadas por cada uno de los vehículos de la flota, permitiendo la monitorización a tiempo real y la explotación de datos, además de ayudar al conductor en la localización de puntos de entrega, reduciendo tiempos de búsqueda y agilizando la toma de decisiones en tiempo real sobre desviaciones de rutas por problemas de tráfico, congestión o incidentes externos que puedan ralentizar a los vehículos, permitiendo el contacto directo entre gestor de operaciones y conductor.

Justificación:

- Reducir costes de combustible y mantenimiento.
- Control a tiempo real de los vehículos de la flota.
- Reducir tiempos de entrega.
- Facilidad de detección de anomalías en la conducción.

ÁMBITO: VEHÍCULOS

- *Mejoras aerodinámicas*

Descripción: Propuesta de incorporación de mejoras aerodinámicas en base a los aspectos en los vehículos de la flota, tales como:

- Deflectores en techo y laterales de cabina.
- Extensiones de paneles laterales.
- Paneles de guardabarros.
- Faldones.
- Etc.

Justificación:

- Reducir el consumo de combustible.

- *Limitadores de velocidad*

Descripción: En la medida se considera la incorporación de limitadores de velocidad en los vehículos de la flota.

Justificación:

- Reducir el consumo de combustible.
- Reducir accidentes y sanciones de tráfico.
- Reducir coste de mantenimiento (neumáticos, frenos, etc.).

- *Elementos complementarios al motor*

Descripción: La medida contempla la introducción de elementos como complemento del motor de los vehículos, que disminuyan el impacto energético y medioambiental mediante un incremento del rendimiento del mismo.

Justificación:

- Disminuir impacto energético y medioambiental.
- Aumentar la vida útil de los vehículos de la flota.

ÁMBITO: CONDUCTORES

- ***Formación en conducción eficiente***

Descripción: Implantar un Programa de Formación en Conducción Eficiente y Segura, en base a las pautas de comportamiento de los conductores y sus hábitos en la conducción. El programa de formación a definir puede incluir, entre otros aspectos:

- Periodicidad.
- Sistemas de ayuda a la reducción del consumo.
- Principales técnicas de conducción eficiente y segura.
- Tandas de conducción y demostración.

Justificación:

- Minimizar el consumo energético.
- Reducir el impacto ambiental.
- Mejorar la velocidad media.
- Reducción del riesgo de accidentes.
- Mejora del confort.

- ***Campaña contra el ralentí***

Descripción: El exceso de uso por parte de los conductores de mantener el motor a ralentí es un hábito a erradicar, ya que simplemente es desperdiciar el combustible del vehículo y el dinero empleado en él. Por lo tanto, la presente medida trata de planificar una campaña en los conductores de la flota para evitar el uso del motor a ralentí, llevando un seguimiento y control específico mediante sistemas telemáticos que permitan conocer el tiempo en el que el vehículo se encuentra a ralentí.

Justificación:

- Reducir el consumo de combustible en paradas.

- ***Motivación e incentivos al personal***

Descripción: Introducir medidas que motiven al personal, de manera que se incite a una mejora eficiente continua en la flota de transporte. Estas medidas pueden basarse en tablas de clasificación de conductores, bonificaciones o incentivos entre otras.

Justificación:

- Incremento de la productividad.
- Mayor implicación en la actividad de la empresa por parte de los conductores.

ÁMBITO: SISTEMAS DE PROPULSIÓN

Las medidas en este ámbito contemplan la adquisición o renovación de la flota de vehículos en base a criterios de sostenibilidad energética y medioambiental, de forma que una vez identificadas las características necesarias para realizar los servicios, se seleccionen vehículos alternativos a los convencionales de gasolina y diesel existentes en el mercado y factibles de adquirir, considerando la adquisición y el almacenaje del combustible. Se consideran las siguientes alternativas:

- Vehículos de biocarburantes.
- Vehículos de gas natural comprimido (GNC).
- Vehículos de gas licuado del petróleo o autogás (GLP).
- Vehículos eléctricos.
- Vehículos híbridos.
- Vehículos propulsados por pilas de hidrógeno.

Se incluye la definición de un sistema óptimo de renovación de los vehículos de la flota considerando criterios económicos (análisis de costes), energéticos (consumos) y medioambientales (emisiones), definiendo a su vez el periodo de renovación por vehículo.

- ***Biocarburantes***

Descripción: Los biocarburantes no son más que combustibles obtenidos a partir de la biomasa que se pueden aplicar a los actuales motores de combustión interna (gasolina y diesel). Los dos tipos de biocarburantes a considerar son:

- Bioetanol: alternativa a la gasolina, produciéndose por fermentación de granos ricos en azúcares o almidón.
- Biodiesel: alternativa al gasóleo, produciéndose por esterificación de plantas oleaginosas (colza, soja, girasol) o de aceites usados.

La medida contempla el análisis de la posibilidad de introducir biocarburantes en la flota, incluyendo el tipo de biocarburantes a emplear y la posibilidad de implantar tanques de almacenamiento propios, así como la optimización de su mezcla, esto es, identificar el porcentaje idóneo de biocarburantes con respecto al combustible tradicional.

Justificación:

- Disminuir impacto energético y medioambiental.
- Aumentar la vida útil de los vehículos de la flota.
- Optimizar el uso de biocarburantes.

- **Gas Natural**

Descripción: El gas natural es la energía de automoción de origen fósil de menor impacto ambiental, cuya composición es una mezcla de gases de hidrocarburo, principalmente gas metano (86 %). Comercialmente, el gas natural para su empleo en automoción se denomina gas natural vehicular o GNV. La medida contempla la adquisición o renovación de la flota de vehículos en base a criterios de sostenibilidad energética y medioambiental, considerando los vehículos de gas natural comprimido (GNC). Se incluye la definición de un sistema óptimo de renovación, donde se tienen en cuenta criterios económicos, energéticos y medioambientales.

Justificación:

- Modernizar la flota de vehículos con criterios de sostenibilidad energética y medioambiental.
- Aumentar la disponibilidad del parque de vehículos de la flota.
- Reducir la cantidad de averías.
- Minimizar costes de mantenimiento.

- **Autogás**

Descripción: El autogás, es el nombre comercial del gas licuado del petróleo o GLP, que no es más que un combustible compuesto por una mezcla entre propano y butano obtenido a partir de refino y en pozos de gas natural húmedo. Los vehículos propulsados por autogás tienen motores de combustión interna similares a los de gasolina, y se diferencia únicamente en el tanque de almacenamiento y en el sistema de alimentación al motor. La medida contempla la adquisición o renovación de la flota de vehículos considerando vehículos de gas licuado del petróleo o autogás, que permitan que la flota sea más sostenible energéticamente y más respetuosa con el medio ambiente.

Justificación:

- Modernizar la flota de vehículos con criterios de sostenibilidad energética y medioambiental.
- Aumentar la disponibilidad del parque de vehículos de la flota.
- Reducir la cantidad de averías
- Minimizar costes de mantenimiento.

- ***Vehículo eléctrico***

Descripción: Se entiende por vehículos eléctricos (VE) aquellos que están propulsados total o parcialmente por energía eléctrica procedente de baterías que se recargan en la red eléctrica. La medida contempla la adquisición o renovación de la flota de vehículos en base a criterios de sostenibilidad energética y medioambiental, considerando los vehículos eléctricos. Dado las restricciones que presentan los vehículos eléctricos actuales, especialmente lo referente a la autonomía, es necesario identificar los servicios llevados a cabo por la flota de vehículos que puedan adaptarse a las condiciones de los VE. A su vez, se considerará la posibilidad de vehículos híbridos (HEV), que combinan un motor de combustión interna tradicional con un motor eléctrico, con lo cual se solventa el problema de autonomía que presentan los VE.

Justificación:

- Modernizar la flota de vehículos con criterios de sostenibilidad energética y medioambiental.
- Aumentar la disponibilidad del parque de vehículos de la flota.
- Reducir la cantidad de averías
- Minimizar costes de mantenimiento.
- Reducir la dependencia de combustibles derivados del petróleo.

- ***Hidrógeno***

Descripción: Otra de las opciones a considerar en la adquisición o renovación de flotas de vehículos es la referente a vehículos propulsados por hidrógeno, fundamentalmente la tecnología de pilas de hidrógeno. La gran ventaja de dichos vehículos es su alta eficiencia, por encima del 60 % frente a un 35 % de los motores de combustión interna, además de que presentan una autonomía aceptable y no emiten sustancias contaminantes en circulación. Se incluye la definición de un sistema óptimo de renovación de los vehículos de la flota considerando criterios económicos (análisis de costes), energéticos (consumos) y medioambientales (emisiones), definiendo a su vez el periodo de renovación por vehículo.

Justificación:

- Modernizar la flota de vehículos con criterios de sostenibilidad energética y medioambiental.
- Aumentar la disponibilidad del parque de vehículos de la flota.
- Reducir la cantidad de averías.
- Minimizar costes de mantenimiento.
- Reducir la dependencia de combustibles derivados del petróleo

4. DISEÑO DE METODOLOGÍA DE INVENTARIOS ENERGÉTICOS Y MEDIOAMBIENTALES EN FLOTAS DE TRANSPORTE Y ESTIMACIÓN DE IMPACTO DE MEDIDAS DE MEJORA

Como se ha comentado a lo largo del presente Proyecto Fin de Carrera, no existe metodología estándar para la realización de Inventarios Energéticos (Consumo Energético) ni Inventarios Medioambientales (Emisiones de Contaminantes Primarios y GEI) en Flotas de Transporte por carretera, por lo que en este punto se va a diseñar una metodología para poder realizar dichos inventarios, así como una metodología para determinar el impacto de actuaciones en Flotas de Transporte por carretera previa a su implantación, lo que permitirá el diseño de estrategias óptimas para la puesta en marcha de manera óptima y secuencial actuaciones de mejora.

La metodología diseñada en el presente Proyecto Fin de Carrera sigue los pasos mostrados en la siguiente figura, la cual se va a explicar detalladamente a continuación.

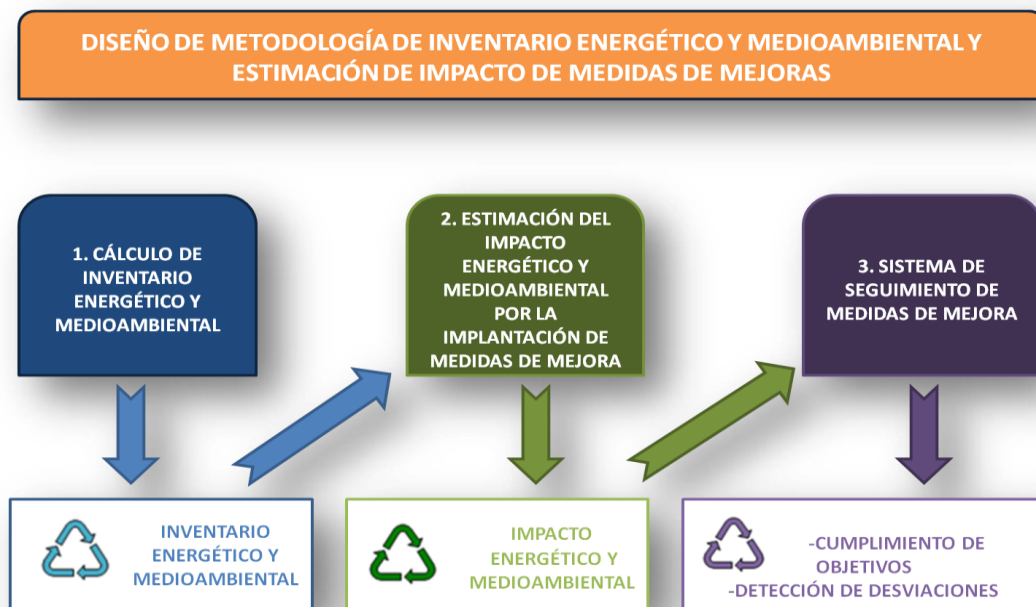


Fig 24. Metodología para la realización de Inventarios Energéticos y Medioambientales

Como se puede observar en la figura anterior, la metodología se clasifica en tres puntos fundamentales, se va a detallar adelante cada uno de ellos.

4.1. Cálculo de Inventario Energético y Medioambiental

El primer paso que se pretende conseguir al aplicar la herramienta diseñada en el Proyecto Fin de Carrera es obtener el Inventario Energético y Medioambiental, para ello, se sigue la metodología descrita en la siguiente figura.

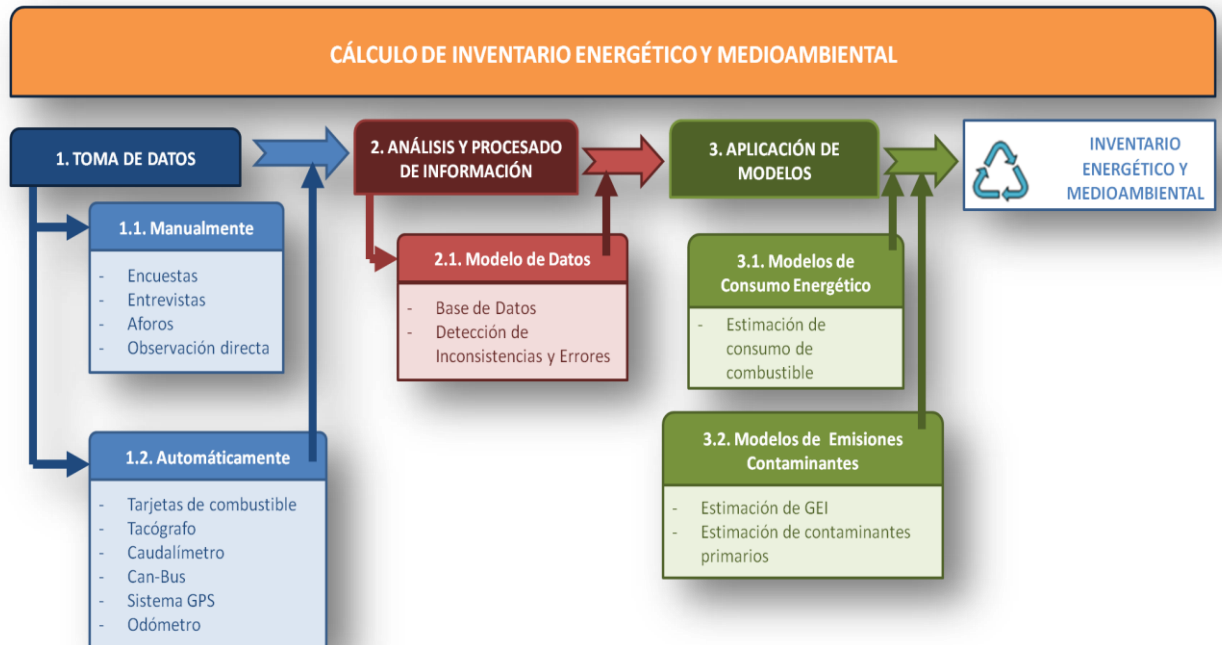


Fig 25. Metodología para el cálculo de Inventario Energético y Medioambiental

4.1.1. Toma de Datos

La fase inicial de la Metodología de Inventarios Energéticos y Medioambientales en flotas de transporte por carretera es la Toma de Datos, cuya finalidad es obtener toda la información de base existente mediante investigación documental, es decir, poder recabar el material necesario para comenzar a analizar la situación de la flota de vehículos y su ámbito de trabajo. En esta fase se realiza una base informativa completa para inventariar el estado actual de la flota de vehículos, en base a dos tipos de toma de datos: **manual y automática**.

En primer lugar, se recaba toda la información existente relevante y que influya de forma directa en el desarrollo del proyecto. Se recopilan todos los estudios existentes que pueden aportar información relevante, así como la información facilitada que involucre cualquier aspecto de la flota de vehículos.

En un segundo paso se lleva a cabo la definición y puesta en marcha de los trabajos de campo y toma de datos e información “in situ” (encuestas, aforos, entrevistas, observación directa, documentos históricos o sistema de información a bordo de los vehículos), de acuerdo a un Plan de Toma de Datos que permite completar y ampliar la misma para la correcta y precisa evaluación de la flota de vehículos y sus implicaciones energéticas y medioambientales.

Dicha información hace referencia tanto a los propios vehículos de la flota de transporte, como al personal de la misma, las propias instalaciones, e incluso en referencia a costes, mantenimiento y las operaciones de la flota en sí, permitiendo una visión del conjunto de la flota de vehículos. Por lo que con toda esta información se tiene una visión preliminar que permite identificar a alto nivel problemas y carencias de la flota de vehículos, así como en su entorno de acción.

En cuanto a la metodología de obtención de información sobre aspectos operativos, energéticos, medioambientales y económicos, se consideran dos estrategias para recabar la información:

- Datos con **carácter estático**, que se recogen una sola vez (como las fichas de los vehículos y de la plantilla de personal o los costes indirectos).
- Datos con **carácter dinámico**, que se recogen a medida que se desarrollen las actividades (como los registros de las operaciones, del mantenimiento de los vehículos, de las incidencias que ocurran o los costes directos), es decir, se hace un registro de datos de manera continuada y detallada para poder extraer conclusiones del conjunto de la flota y poder detectar inconsistencias y errores.

Es importante conocer las características básicas del ámbito territorial de acción del proyecto donde se aplica la metodología propuesta, ya que conocer el ámbito territorial es un aspecto importante a considerar en la Toma de Datos. Para ello, se recaba información general de la zona en contexto de acción de la flota de transporte, como son la localización de los clientes, cocheras disponibles...

Concretando, la información a recabar, incluida la información sobre el territorio donde se van a desarrollar las operaciones realizadas por la flota de transporte se detalla en la tabla siguiente junto a la metodología de obtención de dicha información:

INFORMACIÓN OBJETIVO	METODOLOGÍA
Flota de vehículos	<p>Se recaba información para dimensionar la flota de vehículos, considerando las siguientes características entre otras:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tamaño de la flota. ▪ Clasificación y caracterización de cada vehículo (modelo, MMA, tara, tipo combustible, antigüedad, norma EURO, etc.). ▪ Identificación de conductores.
Rutas	<p>Se recaba información para caracterizar cada una de las rutas definidas en cada zona:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificación de cocheras. ▪ Rutas seguidas. ▪ Clientes visitados por ruta. ▪ Tiempos de recorrido. ▪ Horarios y frecuencias de la ruta. ▪ Tiempo de visita al cliente.
Clientes	<p>En la obtención de información referente a los clientes se realiza lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Se recaba información y se valida “in situ” la ubicación geográfica. ▪ Mercancías para clientes, usos de carga y descarga. ▪ Tiempo de estacionamiento en paradas de carga y descarga. ▪ Tiempos de desplazamientos entre clientes, velocidad media...
Combustible	<p>Se recaba información sobre el control y el seguimiento del combustible desde su entrada hasta su uso en la flota:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Selección de combustible (biocarburantes, etc.). ▪ Compra de combustible. ▪ Sistema de almacenamiento (tanques) y expedición si procede. ▪ Sistema de control de combustible.
Mantenimiento	<p>Se recaba información sobre el control y el seguimiento del mantenimiento de la flota:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Neumáticos. ▪ Revisiones. ▪ Averías. ▪ Planes de mantenimiento (reabastecimiento y conservación, mantenimiento preventivo y predictivo).
Formación de conductores	<p>Se recaba información acerca de la metodología seguida para la formación de conductores.</p>
Renovación de vehículos	<p>Se recaba información acerca de la política de renovación de vehículos de la flota.</p>
Sistemas telemáticos	<p>Se recaba información de los sistemas telemáticos instalados en cada uno de los vehículos de la flota.</p>

Tabla 22. Metodología para la obtención de información

En la siguiente tabla se muestran las herramientas que se utilizan para realizar las mediciones descritas:

INFORMACIÓN OBJETIVO	METODOLOGÍA
Caracterización de recursos	<p>Se realiza una serie de entrevistas previas y encuestas en la zona donde se va a desarrollar el estudio:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Instalaciones empleadas (cocheras). ▪ Vehículos de la flota, realizando una clasificación por tipología. ▪ Conductores de la flota y su asignación a vehículos.
Caracterización de las rutas	<p>Se lanza una campaña de encuestas y entrevistas para conocer la gestión de las operaciones, así como una clasificación de las rutas. Dichas encuestas y entrevistas se realizan continuamente para obtener datos dinámicos y al comienzo del proyecto para obtener datos estáticos.</p> <p>Se realizan aforos y observaciones “in situ” para validar la información obtenida mediante encuestas y entrevistas.</p> <p>Se definen las rutas a partir de encuestas y entrevista, y si procede, su posterior validación mediante el sistema de seguimiento GPS instalado en los vehículos, así como mediante observaciones “in situ”.</p> <p>Se realiza una campaña de aforos para obtener tiempos de recorridos para cada ruta, distinguiendo entre tiempos de estacionamiento y tiempos de desplazamiento entre clientes.</p> <p>Se identifica el volumen global de los desplazamientos de la flota de vehículos a partir de los tiempos de recorrido junto con los horarios y frecuencias de cada ruta.</p> <p>Se recaba continuamente mediante encuestas información referente a distancias recorridas, contrastándose con las distancias obtenidas por los sistemas de GPS si los tuvieses instalado el vehículo.</p>
Clientes	<p>Se realizan aforos y observaciones “in situ” para obtener información sobre factor de carga, tiempos de estacionamientos...</p>
Consumo de Combustible	<p>Se recaba continuamente mediante encuestas, información referente a consumos de combustible, tanto para los vehículos individualmente como para el total de la flota.</p>
Mantenimiento y averías	<p>Se recaba continuamente mediante encuestas, información referente a gastos de mantenimiento de vehículos y averías. Asimismo se considera el cambio de neumáticos.</p>

Tabla 23. *Herramientas para la obtención de información*

En relación a las encuestas y al manejo de datos e información hay que tener en cuenta que todas las encuestas deben realizarse de forma anónima y en el tratamiento de toda la información (incluida la obtenida por cualquier otro medio), se debe respetar en todo momento lo fijado por la Ley Orgánica de Protección de Datos.

Un aspecto a destacar de la toma de datos son las fichas a desarrollar para recabar la información necesaria para el análisis actual y tendencial de la flota de transporte. Para cada una de estas fichas es necesario evaluar ciertas características que se definen más adelante. Dichas tipologías de fichas y registros son las siguientes:

- Fichas de vehículos.
- Fichas de personal.
- Fichas de clientes.
- Fichas de rutas.
- Registros de operaciones.
- Registros de mantenimiento.
- Registros de no conformidades.
- Registros de costes.

Como se ha comentado con anterioridad, se puede registrar datos de dos formas, a continuación se van a explicar cada una de ellas y se van a mostrar las fichas a rellenar para recoger los datos.

TOMA DE DATOS MANUAL

Se toman datos mediante encuestas, entrevistas, aforos, observación directa... los valores que se toman manualmente suelen ser datos estáticos, se registran una sola vez.

Fichas de vehículos

En las fichas de vehículos se recoge la información de especificaciones técnicas de cada vehículo de la flota. La información necesaria para estas fichas es la siguiente:

- Matrícula o código del vehículo.
- Tipo de vehículo.
- Modelo.
- Tipo de carrocería.
- Año de fabricación.
- Tipo de combustible.
- Masa máxima autorizada.
- Norma Euro.
- Número de neumáticos.
- Duración media de cada neumático.

- Empresa a la que pertenece.
- Disposición de señal eléctrica del servicio.

Ficha Vehículos	
Matricula o ID	<input type="text"/>
Tipo vehículo	<input type="text"/>
Modelo	<input type="text"/>
Tipo de carrocería	<input type="text"/>
Año de fabricación	<input type="text"/>
Tipo combustible	<input type="text"/>
PMA	<input type="text"/>
Norma Euro	<input type="text"/>
Nº neumáticos	<input type="text"/>
Duración media de cada neumático	<input type="text"/>
Empresa a la que pertenece	<input type="text"/>
Dispone de señal eléctrica del servicio (indicar cual)	<input type="text"/>

Fig 26. Ficha para la toma de datos de vehículos

Fichas de personal

En las fichas del personal se recoge, por un lado información general de la plantilla que se realiza manualmente y por otro, información propia de cada conductor de la flota, de forma automática que se explicará más adelante.

- Nº de trabajadores – Dirección.
- Nº de trabajadores – Administración y personal técnico.
- Nº de trabajadores – Mandos intermedios e inspectores.
- Nº de trabajadores – Personal de servicios y talleres.
- Nº de trabajadores – Conductores.
- Sueldo medio del personal.

Ficha Plantilla	
	<u>Nº de trabajadores</u>
Dirección	<input type="text"/>
Administración y personal técnico	<input type="text"/>
Mandos intermedios e inspectores	<input type="text"/>
Personal de servicios y talleres	<input type="text"/>
Conductores	<input type="text"/>
Sueldo medio del personal	<input type="text"/>

Fig 27. Ficha de toma de datos para la plantilla

Fichas de Clientes

En cuanto a los clientes, se recoge la ubicación de cada uno de ellos.

- Nº clientes.
- Información del cliente.
- Mercancía transportada.
- Ubicación.

Ficha Clientes	
Nº clientes	<input type="text"/>
Identificación cliente	<input type="text"/>
Mercancía transportada (kg)	<input type="text"/>
Adjuntar ubicación de cada cliente.	

Fig 28. Ficha para la toma de datos de clientes

Fichas de Rutas

La caracterización de las rutas recoge información referente a las características que la definen:

- Nº de vehículos que realizan la ruta.
- Frecuencia y horarios.
- Ubicación de cochera de inicio de ruta.
- Ubicación de clientes.
- Destino de los vehículos una vez finalizada la ruta.

- Tiempos de estacionamiento del vehículo.
- Tiempos de desplazamientos entre clientes.
- Peso de la carga recogida por camión, clientes, etc.

Ficha Ruta	
Nº de camiones que realizan la ruta	<input type="text"/>
Nº de visitas (Horarios y frecuencia)	<input type="text"/>
Ubicación de cochera de inicio de ruta	<input type="text"/>
Ubicación de clientes por ruta	<input type="text"/>
Destino de los camiones una vez finalizada la ruta	<input type="text"/>
Tiempo de estacionamiento del vehículo	<input type="text"/>
Tiempo de desplazamientos entre clientes	<input type="text"/>
Peso de la mercancía transportada por camión	<input type="text"/>

Fig 29. Ficha para la toma de datos de rutas

Registros de mantenimiento

Los registros de mantenimiento contienen información relacionada con el mantenimiento de cada vehículo de la flota:

- Número de defectos encontrados.
- Número de defectos rectificadas en menos de 72 horas.
- Número de vehículos en mantenimiento.
- Duración del mantenimiento por vehículo.

Registros de Mantenimiento	
Nº defectos detectados	_____
Nº defectos rectificados en menos de 72 h	_____
Nº vehículos en mantenimiento	_____
Duración media mantenimiento por vehículo	_____

Fig 30. Registro de mantenimiento

Registros de no conformidades

Los registros de no conformidades analizan las incidencias de conducción sobre la flota de vehículos:

- Número de accidentes por culpa propia.
- Número de accidentes por culpa de terceros.
- Número de excesos de velocidad.
- Número de excesos de conducción.
- Número de excesos de paradas.

Registros de No Conformidades	
Nº accidentes culpa conductor	_____
Nº accidentes culpa terceros	_____
Nº excesos velocidad	_____
Nº excesos horas conducción	_____
Nº exceso paradas	_____

Fig 31. Registro de no conformidades

Registros de costes

Los registros de costes asociados a la flota que se toman son:

- Coste de cada neumático de cada vehículo.
- Costes totales de mantenimiento.
- Costes totales de reparaciones.

Registros de Costes	
Costes totales mantenimiento	<input type="text"/>
Costes totales reparaciones	<input type="text"/>
Coste medio de cada neumático	<input type="text"/>

Fig 32. Registro de costes

TOMA DE DATOS AUTOMÁTICA

Se toman datos de forma automática mediante dispositivos electrónicos que registran ciertos valores. Algunos de estos dispositivos son:

- **Tarjetas de combustible**, registran: kilometraje, placas, usuario, modelo del vehículo, tipo de combustible, número confidencial para la identificación y uso de cada tarjeta. La utilización de estas tarjetas consiste en que a cada vehículo se le asocia una tarjeta, el conductor cuando va a repostar tiene que pasar la tarjeta de combustible por una máquina donde introduce manualmente el kilometraje del vehículo. En la tarjeta se registra el kilometraje actual y el combustible repostado en la operación.
- **Tacógrafos**, registran: velocidad promedio, velocidad máxima, kilómetros recorridos, aceleraciones y frenadas bruscas, tiempo de ralentí.
- **Caudalímetros**, registran consumo de combustible.
- **Can-bus**, proporciona información en tiempo real del nivel de combustible, variación de combustible, velocidad del motor (rpm) y temperatura del motor, también para vehículos con tacógrafo digital, se incluyen los estados de conducción, trabajo y descanso, así como avisos cuando el tiempo máximo de conducción permitido por ley es superado (según la ley europea). También registra consumo total y medio de combustible (en un periodo), kilometraje total, velocidad de motor máxima y temperatura de motor máxima, así como el número de infracciones de periodos de trabajo (según las leyes europeas).
- **Sistema GPS**, el uso de los dispositivos telemáticos de tipo GPS en los vehículos de la flota de transporte ofrecen funcionalidades de localización y comunicación en tiempo real, lo que permite un control sobre tiempos de parada y recorridos así como del consumo, velocidad, datos del Can Bus o tacógrafo entre otros. Con la utilización de estos dispositivos se obtiene una mayor eficiencia en la gestión de la flota lo que supone un control de la utilización de los vehículos y que se traduce en una disminución de los costes en combustible y mantenimiento, además se obtiene un incremento de la productividad y una mejor planificación de las rutas y sus horarios.

A continuación se citan los valores que proporcionan los GPS:

- Posición.
 - Altura.
 - Tiempo.
 - Punto de paso o Punto de referencia.
 - Distancia.
 - Navegación.
 - Set up.
 - Datum (map datum).
 - Norte de Referencia.
 - Unidades de distancia: (Dist. Units).
 - Unidades de elevación: (Elev. Units).
 - Hora: (Time).
- **Odómetros**, registran la distancia total o parcial recorrida.

A continuación se muestran algunas fichas de toma de datos con los datos registrados de forma automática.

Fichas de personal

Como se comentó antes, existen dos tipos de fichas de personal, uno manual con información general de la plantilla y otro con información propia de cada conductor, que es el que se comenta en el presente apartado. Los datos para caracterizar estas fichas son los siguientes:

- Código del conductor.
- Horas de viaje.
- Kilómetros recorridos.

Ficha Conductores	
Código del conductor	<input type="text"/>
Horas de viaje	<input type="text"/>
Kilómetros recorridos	<input type="text"/>

Fig 33. Ficha de toma de datos para conductores

Registros de operaciones

Esta toma de datos que se realiza para cada vehículo, es de carácter dinámico, ya que se va tomando en determinados intervalos de tiempo. Dicho intervalo de tiempo será de una jornada de trabajo o de un día o de una semana o del mes completo. Los datos a registrar son los siguientes:

- Matrícula o código del vehículo.
- Kilómetros recorridos.
- Horas disponibles.
- Horas trabajadas.
- Litros de Combustible consumidos.
- Precio medio del litro de Combustible.

Registro de operaciones mensuales de cada vehículo					
Código conductor 1		Código conductor 2		Código conductor 3	
Km totales recorridos		Km totales recorridos		Km totales recorridos	
Horas totales (trabajadas + paradas)		Horas totales (trabajadas + paradas)		Horas totales (trabajadas + paradas)	
Horas trabajadas		Horas trabajadas		Horas trabajadas	
Litros combustible consumido		Litros combustible consumido		Litros combustible consumido	
Precio medio litro combustible					

Fig 34. Registro de operaciones mensuales de cada vehículo

Cabe resaltar que si no se dispone de los dispositivos adecuados para la caracterización de los determinados valores a rellenar en las fichas de datos, se haría de manera manual.

RESUMEN TOMA DE DATOS

Como resumen, se muestra en la tabla siguiente la descripción de cada uno de los datos a recabar necesarios, clasificados por tipología de ficha o registro. Como información añadida se tiene el origen y la frecuencia de la toma de datos.

ORIGEN DE DATOS	CARÁCTER	DESCRIPCIÓN
A	Carácter Estático	Información a registrar una única vez al inicio del proyecto y una vez cada año siguiente
B	Carácter Dinámico	Información a registrar mensualmente a través de encuestas
C		Información a recoger mensualmente a través de los dispositivos automáticos.

Tabla 24. *Origen de la información a obtener y frecuencia de la toma de datos*

TIPO DE FICHA O REGISTRO	DESCRIPCIÓN	ORIGEN
1. Fichas de vehículos	Matrícula o código del vehículo	A
	Tipo de vehículo	A
	Modelo	A
	Tipo de carrocería	A
	Año de fabricación	A
	Tipo de combustible	A
	Masa máxima autorizada	A
	Norma Euro	A
	Número de neumáticos	A
	Duración media de cada neumático	A
	Empresa a la que pertenece	A
2. Fichas de personal	Disposición de señal eléctrica del servicio	A
	Nº de trabajadores – Dirección	A
	Nº de trabajadores – Administración y personal técnico	A
	Nº de trabajadores – Mandos intermedios e inspectores	A
	Nº de trabajadores – Personal de servicios y talleres	A

	Nº de trabajadores – Conductores	A
	Sueldo medio del personal	A
	Código del conductor	A
	Horas de viaje (último mes)	C
	Km recorridos (último mes)	C
3. Fichas de clientes	Nº de clientes	A
	Capacidad de camiones de mercancías	A
	Cantidad de mercancía transportada (último mes)	B
	Ubicación de clientes	A
4. Fichas de rutas	Nº de vehículos que realizan la ruta	A
	Horarios y frecuencias	A
	Ubicación de cochera inicio de ruta	A
	Ubicación de clientes por ruta	A
	Destino de los vehículos al finalizar la ruta	A
	Tiempo de estacionamiento.	A
	Tiempos de desplazamientos entre clientes	A
	Peso de la carga del vehículo.	B
5. Registros de operaciones de cada vehículo	Matrícula o código del vehículo	C
	Km recorridos (último mes)	C
	Horas disponibles = trabajadas + paradas (último mes)	C
	Horas trabajadas (último mes)	C
	Litros de Combustible consumido (último mes)	B
	Precio medio del Litro de Combustible (último mes)	B
6. Registros de mantenimiento	Número de defectos encontrados (último mes)	B
	Número de defectos rectificadas en menos de 72 horas (último mes)	B
	Número de vehículos en mantenimiento (último mes)	B
	Duración del mantenimiento por vehículo (último mes)	B

Diseño de una Metodología para la Estimación de Consumo Energético y Emisiones Contaminantes en Flotas de Transporte por Carretera

7. Registros de no conformidades	Número de accidentes por culpa propia (último mes)	B
	Número de accidentes por culpa de terceros (último mes)	B
	Número de excesos de velocidad (último mes)	C
	Número de excesos de conducción (último mes)	C
	Número de excesos de parada (último mes)	C
8. Registros de costes	Coste de cada neumático de cada vehículo	A
	Costes totales de mantenimiento (último mes)	B
	Costes totales de reparaciones (último mes)	B

Tabla 25. Descripción de datos a obtener según tipología de ficha o registro

Por último se van a mencionar los parámetros fundamentales de todos los registros anteriores que son relevantes para los cálculos de los Inventarios Energéticos y Medioambientales que se van a describir en puntos posteriores de la metodología diseñada.

INFORMACIÓN OBJETIVO	PARÁMETROS CLAVE PARA EL CÁLCULO DEL INVENTARIO ENERGÉTICO Y MEDIOAMBIENTAL
Flota de Vehículos	<ul style="list-style-type: none"> • Número de vehículos. • Conductores asociados a los vehículos. • Antigüedad. • Norma EURO. • Tn del vehículo. • Tipo de neumático. • Tipo de combustible empleado por vehículo.
Rutas	<ul style="list-style-type: none"> • Distancia recorrida por ruta (km). • Tipo de conducción en ruta (Conducción eficiente). • Tipología de asfalto (Porcentaje de conducción en carretera, camino, etc.). • Desnivel de altura. • Velocidad de conducción. • Nivel de carga.

Tabla 26. Parámetros fundamentales de cálculo de Inventarios

4.1.2. **Análisis y Procesado de Información**

La finalidad de este punto es procesar, analizar e interpretar la información recopilada en la toma de datos para la caracterización de la situación actual de la flota de transporte. Por tanto, esta etapa se centra en:

- Crear una base de datos.
- Detectar inconsistencias y errores.

Al igual que la fase de toma de datos, el proceso de diagnóstico también está sujeto a tareas de monitorización y seguimiento de los trabajos. Por lo que esta etapa se puede desarrollar tanto una vez finalizado el proceso de toma de datos como en paralelo con ella.

BASE DE DATOS

La realización de una Base de Datos es la primera fase de esta etapa. Una vez finalizada dicha fase, se puede hacer una evaluación estadística de los datos obtenidos a partir de los valores registrados tanto manual como automáticamente, analizando pues, de manera pormenorizada la información recabada.

Para el diseño de la Base de Datos se realizan unas tablas que almacenan de forma ordenada los datos, y en las cuales se introduce toda la información recabada en la toma de datos, que son el soporte para poder realizar análisis y diagnósticos de la flota de vehículos, así como la base para el cálculo de posteriores inventarios energéticos y medioambientales.

En el presente Proyecto Fin de Carrera se ha diseñado una Base de Datos (BBDD) particularizada para flotas de vehículos donde se incluye toda la información para caracterizar completamente cualquier flota, independientemente del tipo de actividad al que se dedique. Además, se contemplan todos los datos necesarios para los posteriores cálculos de Inventarios Energéticos y Medioambientales. Dicha BBDD está constituida por varios módulos:

- **Módulo Infraestructuras (color marrón):** este módulo incluye la información relativa a cocheras, paradas, clientes...que hay que tener en cuenta para cualquier tipo de flota.
- **Módulo Vehículos (color verde):** en este módulo se contempla la información que tiene que ver con los vehículos, como son sus costes, modelos, norma Euro, neumáticos, combustible, mantenimiento, si disponen de dispositivos telemáticos...
- **Módulo Conductor (color amarillo):** aquí se tiene en cuenta la información de cada conductor, como el tipo de formación que tienen, sus datos personales y sueldo.
- **Módulo Operaciones (color rosa):** en este módulo se incluye la información relativa a cada ruta realizada por la flota, se indica nombre de ruta, carga del vehículo, tipo de conducción...

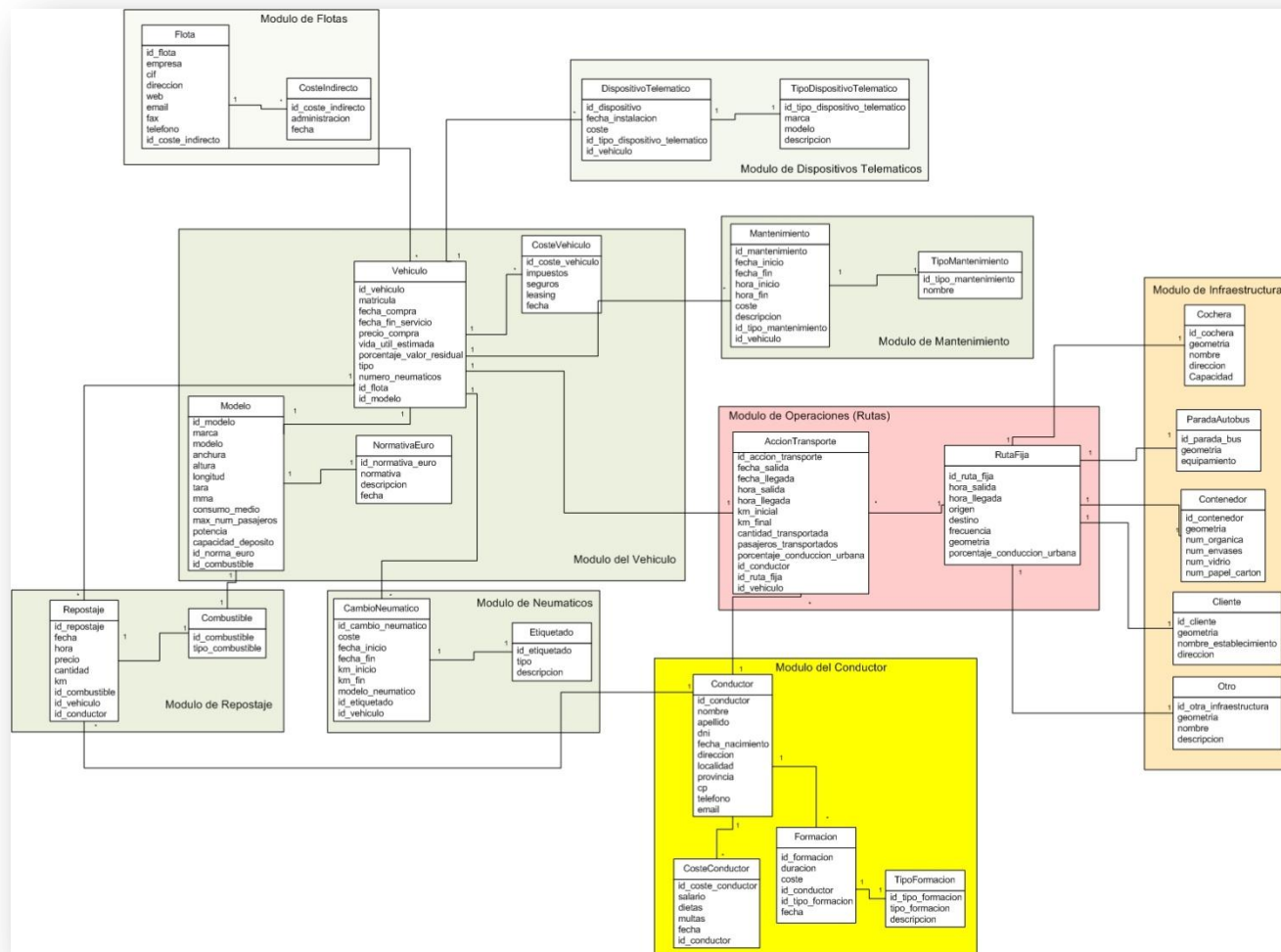


Fig 35. Base de Datos para caracterizar cualquier flota de vehículos

A continuación, se muestra un ejemplo de una Base de Datos realizada a partir de datos registrados mediante tarjetas de combustible para un determinado período de tiempo, donde se ha seleccionado el camión clasificado en la flota con el número 12. Para este vehículo, aparecen los correspondientes valores registrados a la hora de realizar un repostaje. Se indica el puesto que ocupa al suministrar con respecto al total de vehículos de la flota de transporte, la fecha y hora a la cual ha repostado, el kilometraje que lleva acumulado hasta dicha fecha el vehículo considerado y los litros totales de combustible que reposta.

DATOS DEL 10/04/2011 AL 23/07/2011					
N° SUMINISTRO	FECHA	HORA	CAMION	KMS	LITROS
9	11/04/2011	18:04:27	12	569.778	203,00
21	13/04/2011	10:29:55	12	570.456	252,02
38	16/04/2011	12:03:45	12	571.002	212,02
47	17/04/2011	15:13:00	12	571.656	253,01
56	18/04/2011	14:09:39	12	572.202	197,00
63	19/04/2011	14:34:45	12	572.641	158,05
77	20/04/2011	16:52:07	12	573.295	240,02
85	23/04/2011	17:13:17	12	573.748	167,46
96	24/04/2011	14:59:04	12	574.188	159,00
110	25/04/2011	16:19:18	12	574.733	205,00
120	26/04/2011	15:43:32	12	575.172	166,02
128	27/04/2011	13:48:28	12	575.621	167,00
136	30/04/2011	14:07:23	12	576.063	163,00
149	02/05/2011	16:21:44	12	576.635	247,01
160	03/05/2011	16:59:20	12	577.158	220,02
169	04/05/2011	14:28:21	12	577.632	185,00
174	07/05/2011	9:42:04	12	577.879	96,83
186	08/05/2011	12:08:32	12	578.531	239,76
199	09/05/2011	14:50:28	12	579.184	243,60
212	10/05/2011	13:33:25	12	579.624	162,02
220	11/05/2011	13:59:08	12	580.168	201,00
234	14/05/2011	16:45:59	12	580.820	242,02
247	15/05/2011	18:25:42	12	581.260	169,43
254	16/05/2011	13:08:14	12	581.593	125,00
276	18/05/2011	16:01:28	12	582.148	189,03
287	21/05/2011	19:09:32	12	582.496	148,21
298	23/05/2011	8:57:18	12	583.015	213,10
308	24/05/2011	15:50:47	12	583.671	193,59
309	24/05/2011	15:53:33	12	583.671	41,77
322	25/05/2011	15:32:44	12	584.221	206,58
332	28/05/2011	17:43:41	12	584.822	232,22
344	30/05/2011	10:14:56	12	584.822	217,59
355	31/05/2011	13:33:44	12	585.982	206,35
372	01/06/2011	15:26:49	12	586.119	60,60
400	06/06/2011	18:23:46	12	566.627	180,18
412	07/06/2011	18:25:02	12	587.147	200,12
425	08/06/2011	17:55:38	12	587.692	175,03
434	11/06/2011	20:56:41	12	588.095	160,02
442	12/06/2011	18:00:48	12	588.543	155,03
451	14/06/2011	10:00:09	12	589.065	210,09
461	14/06/2011	20:03:28	12	584.292	83,12

486	18/06/2011	20:07:15	12	589.662	195,10
492	19/06/2011	18:01:11	12	590.099	150,05
503	20/06/2011	20:13:50	12	590.495	150,08
514	21/06/2011	20:04:14	12	590.830	127,39
523	25/06/2011	7:45:55	12	591.188	127,03
540	26/06/2011	16:19:39	12	591.528	116,08
555	27/06/2011	19:54:10	12	591.898	130,01
562	28/06/2011	18:48:06	12	592.398	180,02
575	29/06/2011	17:56:56	12	592.838	146,64
584	02/07/2011	20:10:19	12	593.235	141,92
595	03/07/2011	20:12:17	12	593.675	155,03
604	04/07/2011	19:24:35	12	594.070	165,85
613	05/07/2011	20:13:41	12	594.168	65,42
626	09/07/2011	11:11:58	12	594.661	196,08
634	09/07/2011	19:59:50	12	594.892	85,78
642	10/07/2011	20:03:54	12	595.231	127,88
653	11/07/2011	20:12:19	12	595.577	132,57
679	16/07/2011	12:56:36	12	596.165	213,00
682	16/07/2011	20:09:12	12	90.000	0,03
683	16/07/2011	20:11:29	12	596.299	68,01
696	17/07/2011	20:05:49	12	596.641	130,08
704	18/07/2011	17:34:10	12	597.193	192,02
723	23/07/2011	10:20:50	12	597.651	171,00
731	23/07/2011	20:13:43	12	597.898	90,04

Tabla 27. *Ejemplo de Base de Datos*

DETECCIÓN DE INCONSISTENCIAS Y ERRORES

Al analizar y evaluar los datos registrados, ya se pueden detectar posibles inconsistencias entre datos y estudiarlos para determinar los errores y poder actuar sobre ellos.

Para el ejemplo anterior, que ya se tiene la Base de Datos a partir de tarjetas de combustible, se pueden detectar inconsistencias y errores y ver qué es lo que ha ocurrido. Como se puede observar, en la última columna se calcula la diferencia entre el kilometraje último y penúltimo que ha introducido manualmente el conductor, donde se puede ver que el rango normal oscila entre 250 y 650 km aproximadamente. A continuación se muestran ejemplos de errores en el caso visto para la Base de Datos anterior.

La primera inconsistencia que se encuentra se puede ver en el suministro número 309 (primera columna), donde se observa que la diferencia de kilometrajes es nula, esto es debido a que en un mismo repostaje, se deje de presionar la pistola del suministrador y se vuelva a presionar, en este caso, se registra como si fueran dos suministros diferentes, siendo en realidad uno mismo. Para solucionarlo se unen los suministros 308 y 309, y se suman los litros de combustible repostados en ambos para unificar en un único suministro.

Otro posible error se ve en el suministro 400, donde la diferencia entre los dos últimos kilometrajes registrados resulta negativa, esta inconsistencia se debe a que el conductor al introducir manualmente el último kilometraje introdujo mal un dígito, se corrige cambiando el dígito incorrecto.

N. SUMIN.	FECHA	HORA	KMS	LITROS	ERROR	MEDIA
9	11/04/2011	18:04:27	569.778	203,00		
21	13/04/2011	10:29:55	570.456	252,02		678
38	16/04/2011	12:03:45	571.002	212,02		546
47	17/04/2011	15:13:00	571.656	253,01		654
56	18/04/2011	14:09:39	572.202	197,00		546
63	19/04/2011	14:34:45	572.641	158,05		439
77	20/04/2011	16:52:07	573.295	240,02		654
85	23/04/2011	17:13:17	573.748	167,46		453
96	24/04/2011	14:59:04	574.188	159,00		440
110	25/04/2011	16:19:18	574.733	205,00		545
120	26/04/2011	15:43:32	575.172	166,02		439
128	27/04/2011	13:48:28	575.621	167,00		449
136	30/04/2011	14:07:23	576.063	163,00		442
149	02/05/2011	16:21:44	576.635	247,01		572
160	03/05/2011	16:59:20	577.158	220,02		523
169	04/05/2011	14:28:21	577.632	185,00		474
174	07/05/2011	9:42:04	577.879	96,83		247
186	08/05/2011	12:08:32	578.531	239,76		652
199	09/05/2011	14:50:28	579.184	243,60		653
212	10/05/2011	13:33:25	579.624	162,02		440
220	11/05/2011	13:59:08	580.168	201,00		544
234	14/05/2011	16:45:59	580.820	242,02		652

Diseño de una Metodología para la Estimación de Consumo Energético y Emisiones Contaminantes en Flotas de Transporte por Carretera

247	15/05/2011	18:25:42	581.260	169,43			440
254	16/05/2011	13:08:14	581.593	125,00			333
276	18/05/2011	16:01:28	582.148	189,03			555
287	21/05/2011	19:09:32	582.496	148,21			348
298	23/05/2011	8:57:18	583.015	213,10			519
308	24/05/2011	15:50:47	583.671	193,59		Unir con siguiente	656
309	24/05/2011	15:53:33	583.671	41,77	583.671	235,36	0
322	25/05/2011	15:32:44	584.221	206,58			550
332	28/05/2011	17:43:41	584.822	232,22		Unir con siguiente	601
344	30/05/2011	10:14:56	584.822	217,59	584.822	449,81	0
355	31/05/2011	13:33:44	585.982	206,35			1.160
372	01/06/2011	15:26:49	586.119	60,60			137
400	06/06/2011	18:23:46	566.627	180,18	586.627		-19.492
412	07/06/2011	18:25:02	587.147	200,12			20.520
425	08/06/2011	17:55:38	587.692	175,03			545
434	11/06/2011	20:56:41	588.095	160,02			403
442	12/06/2011	18:00:48	588.543	155,03			448
451	14/06/2011	10:00:09	589.065	210,09			522
461	14/06/2011	20:03:28	584.292	83,12	589.292		-4.773
486	18/06/2011	20:07:15	589.662	195,10			5.370
492	19/06/2011	18:01:11	590.099	150,05			437
503	20/06/2011	20:13:50	590.495	150,08			396
514	21/06/2011	20:04:14	590.830	127,39			335
523	25/06/2011	7:45:55	591.188	127,03			358

540	26/06/2011	16:19:39	591.528	116,08		340
555	27/06/2011	19:54:10	591.898	130,01		370
562	28/06/2011	18:48:06	592.398	180,02		500
575	29/06/2011	17:56:56	592.838	146,64		440
584	02/07/2011	20:10:19	593.235	141,92		397
595	03/07/2011	20:12:17	593.675	155,03		440
604	04/07/2011	19:24:35	594.070	165,85		395
613	05/07/2011	20:13:41	594.168	65,42		98
626	09/07/2011	11:11:58	594.661	196,08		493
634	09/07/2011	19:59:50	594.892	85,78		231
642	10/07/2011	20:03:54	595.231	127,88		339
653	11/07/2011	20:12:19	595.577	132,57		346
679	16/07/2011	12:56:36	596.165	213,00		588
682	16/07/2011	20:09:12	90.000	0,03	Unir con siguiente	-506.165
683	16/07/2011	20:11:29	596.299	68,01	596.299 68,04	506.299
696	17/07/2011	20:05:49	596.641	130,08		342
704	18/07/2011	17:34:10	597.193	192,02		552
723	23/07/2011	10:20:50	597.651	171,00		458
731	23/07/2011	20:13:43	597.898	90,04		247

Tabla 28. *Ejemplo de Detección de Inconsistencias y Errores*

4.1.3. Aplicación de Modelos

Una vez analizada toda la información recabada para la caracterización de la flota de transporte, se hace fundamental el desarrollo de un Modelo de Estimación de Consumo Energético y de un Modelo de Estimación de Gases de Efecto Invernadero y de Contaminantes Primarios aplicados a Flotas de Transporte por Carretera. Para su consecución, se ha creado una metodología, la cual sigue los pasos descritos en la siguiente figura:

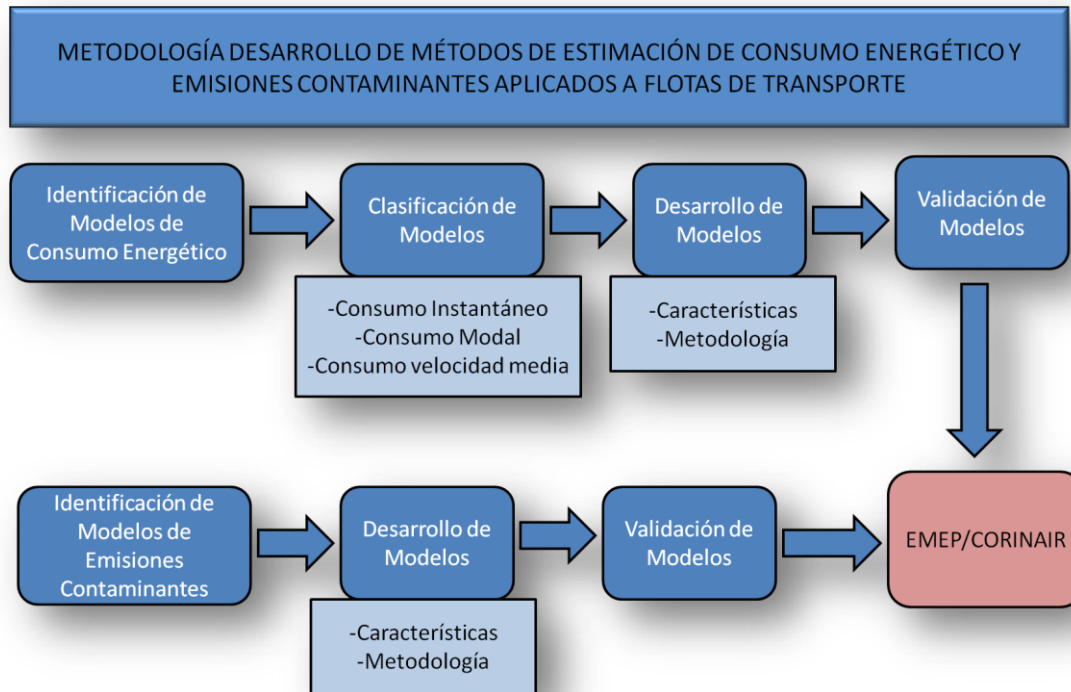


Fig 36. Metodología de desarrollo de métodos de estimación de consumo energético aplicados a flotas de transporte

En dicha metodología se ha realizado una identificación, mediante un análisis extenso de la bibliografía, documentos técnicos, artículos, etc. de los principales modelos de consumo energético, estimación de Gases de Efecto Invernadero y estimación de contaminantes primarios aplicados al sector transporte, realizando posteriormente una clasificación de los mismos en función de la tipología del modelo en cuestión (ver apartados 3.1 y 3.2). Por último, se ha desarrollado un modelo específico con una metodología adaptada a los datos de partida que se disponen en la flota de vehículos, para la consecución del inventario actual de la flota.

Cabe destacar, que para los vehículos que se rigen por la norma Euro VI no se pueden obtener resultados en el Inventario Energético y Medioambiental, ya que no se disponen de datos bibliográficos para este tipo de vehículos.

MODELOS DE CONSUMO ENERGÉTICO

Para el caso de modelos de consumo energético, la metodología llevada a cabo se detalla a continuación:

Identificación de Modelos

La primera etapa de la metodología, como se ha comentado con anterioridad, es la identificación de los modelos existentes para el cálculo de consumo de combustible de vehículos (L combustible) (ver punto 3.1).

Clasificación de Modelos

Como ya se ha explicado, han sido propuestos numerosos modelos para estimar el consumo de combustible de los vehículos (ver apartado 3.1). Tras el análisis de los modelos, se ha determinado que estos modelos pueden agruparse en tres categorías principales, que son las siguientes:

- *Modelos instantáneos*, también llamados modelos microscópicos, que relacionan el consumo de combustible, los tiempos históricos asociados a distintos patrones de conducción y las características de la carretera.
- *Modelos modales*, que estiman a lo largo de un viaje la porción de consumo de combustible asociado a cada condición de funcionamiento.
- *Modelos de velocidad media*, que estiman el consumo de combustible en función de la velocidad media del viaje.

Desarrollo de Modelos

En el apartado 3.1 del presente Proyecto Fin de Carrera se desarrollaron los Modelos de Consumo Energético, comentando sus características y en qué consiste cada metodología. Dicho desarrollo forma parte del proceso de la realización de la metodología que se está explicando, realizándose en el presente punto.

El modelo elegido para la estimación del consumo energético es un *modelo basado en la velocidad media*. Se emplea este modelo, ya que es conveniente debido a la complejidad de las operaciones de los vehículos y la dificultad que atañen los otros métodos (instantáneos y modales) para obtener velocidades de circulación instantáneas, ya que conseguir estas velocidades es imposible sin los medios adecuados para una flota de vehículos tipo. Sin embargo, con la información de la que se dispone, se puede obtener el rango de velocidades medias en desplazamientos necesarios para la aplicación del modelo basado en la velocidad media.

El cálculo del consumo energético se realiza después del proceso de caracterización de las operaciones realizadas por la flota de vehículos objetivo y basándose en los resultados una vez analizados y procesados.

A continuación, se muestra la metodología diseñada mediante una descripción de los pasos necesarios para obtener el consumo energético, donde el primero de los pasos, la toma de datos, ya ha sido realizada en el apartado 4.1.1.

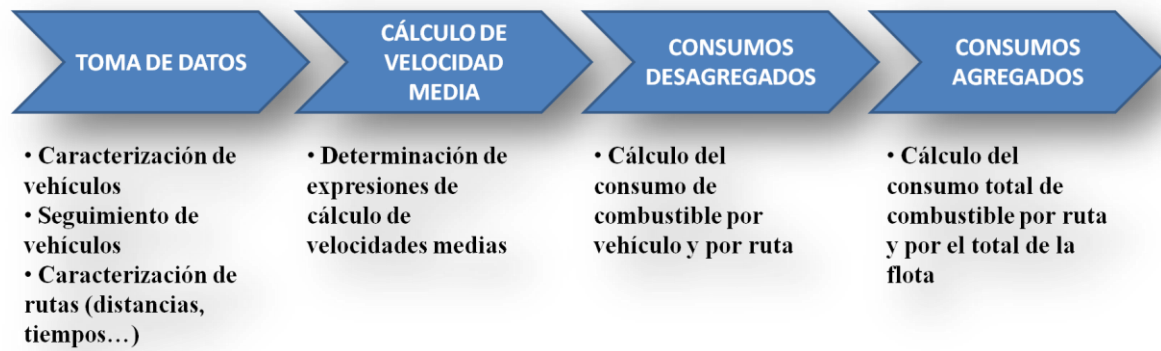


Fig 37. Cálculo de consumos energéticos en flotas de transporte

A continuación, se explican los siguientes pasos llevados a cabo en el diseño de Modelos de Consumo Energético.

1) El primer parámetro que se ha calculado en la metodología diseñada para el cálculo del consumo energético es la **velocidad media** en cada ruta que se recorre. Con la toma de datos y el seguimiento de los vehículos de transporte se conoce la distancia de cada ruta realizada y el tiempo transcurrido en cada entrega a clientes. Con esta información de base, se obtiene la velocidad media en cada ruta de la siguiente manera:

$$\overline{v}_{ij} \left(\frac{km}{h} \right) = \frac{distancia\ recorrida_{ij}(km)}{tiempo_{ij}(h)}$$

Siendo:

\overline{v}_{ij} : velocidad media del vehículo i en la ruta j .

i : se refiere a cierto vehículo.

j : se refiere a la ruta recorrida por el vehículo i correspondiente.

Por tanto, para cada ruta los datos que se necesitan recabar y poder caracterizar la flota de vehículos en la herramienta diseñada son:

- Número de vehículos (vehículos por tipología).
- Tiempos de viajes.
- Distancia de la ruta.

Para cada vehículo que compone la flota de transporte objetivo, se realiza el cálculo anterior, ya que cada vehículo tiene asociado su ruta. Así se conoce la velocidad media de cada vehículo.

Con la caracterización de la flota de transporte, quedan los vehículos clasificados según tipología de la siguiente manera:

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS	GASOLINA	<i>Ligeros / Pesados</i>
	DIESEL	<i>Ligeros</i>
		<i>Pesados - Rígidos</i>
		<i>Pesados - Articulados</i>

Fig 38. Clasificación de flota de transporte

Dentro de cada tipo existe una sub clasificación según norma Euro por la que se rigen los vehículos contemplados en la metodología.

Por tanto, una vez realizado el cálculo anterior de velocidad media por vehículo, para cada categoría de la clasificación se puede obtener la velocidad media total de los vehículos que componen cada tipo una vez caracterizada la flota como:

$$v_{total} \left(\frac{km}{h} \right) = \left(\sum_{i=1}^{n=N} \frac{distancia\ recorrida_{ij}(km)}{tiempo_{ij}(h)} \right) / N$$

Siendo

N : número total de vehículos de cada clasificación.

2) El siguiente paso realizado en el desarrollo del cálculo del consumo energético ha sido obtener el consumo para cada tipología de vehículos, es decir, el consumo desagregado, para ello se ha hecho uso de una expresión que relaciona la velocidad media obtenida en el primer paso con el consumo de combustible de cada vehículo por tipología a través de factores de emisión. Cabe resaltar que existe una expresión para cada tipología de vehículo, clasificando según combustible, norma, carga, etc. Por lo que los cálculos hay que hacerlos para cada conjunto de vehículos dentro de un mismo tipo según la clasificación realizada de la flota de transporte.

Para el cálculo de los litros de combustible consumidos, que es el parámetro más destacable en este paso de la metodología, es necesario obtener previamente ciertos parámetros para cada conjunto de vehículos según la clasificación de la flota:

- **Masa de combustible (kg cble):** se calcula con la siguiente fórmula:

$$Masa\ cble\ (kg\ cble) = n^{\circ} vehiculos * distancia\ recorrida(km) * factor\ de\ emisión\ \left(\frac{g}{km}\right) / 1000$$

Donde:

N° vehículos: es el número de vehículos de cada clase (T_n) introducidos al caracterizar la flota.

Distancia recorrida (km): es la distancia media recorrida por vehículos de cada clase (T_n) introducida al caracterizar la flota.

Factor de emisión (g/km): los factores de emisión son los gramos por kilómetros emitidos de cada contaminante, este factor se calcula según el combustible empleado, la clase, tipo y norma de vehículo haciendo uso de tablas donde se hace la distinción de cada conjunto de vehículo considerado en la metodología que se está diseñando. Para el caso de vehículos diesel pesados rígidos y diesel pesados articulados no se disponen de estos datos directamente de tablas, por lo que hay que realizar una serie de cálculos para poder obtenerlos y poder así aplicar las fórmulas descritas en el desarrollo de los modelos donde intervienen los factores de emisión en los cálculos. Para el resto de vehículos no es necesario realizar previamente estos cálculos pues los factores de emisión se obtienen directamente de tablas.

En el caso de vehículos diesel pesados (rígidos y articulados) se calculan en función del porcentaje de carga de los vehículos y se calculan para combustible (diesel), NO_x, CO, COV y PM. No se considera la pendiente o gradiente para el cálculo, ya que mediante bibliografía sólo se tienen datos para pendiente cero. Haciendo uso de tablas, como son las tablas 11 - 19 del presente Proyecto Fin de Carrera, se introducen en la herramienta EXCEL las fórmulas y valores que aparecen en dichas tablas y teniendo en cuenta el porcentaje de carga (hay tablas para distintos porcentajes de carga) se obtienen automáticamente con la herramienta EXCEL los factores medios de emisión.

La fórmula se divide entre 1000 para corregir las unidades de g a kg de combustible.

- **Volumen de combustible (L cble):** para cada tipo de vehículo se introduce la siguiente fórmula en la herramienta EXCEL:

$$\text{Volumen cble (L cble)} = \frac{\text{Masa Cble (kg cble)}}{\text{Densidad combustible} \left(\frac{\text{kg}}{\text{L}}\right)}$$

Donde la densidad de combustible puede ser 0,747 kg/L en caso de tratarse de vehículos propulsados por gasolina y 0,832 kg/L para vehículos diesel.

- **Rendimiento, μ , (L/100km):** el rendimiento se define como los litros de combustible consumidos cada 100 km recorridos. Para cada tipo de vehículo se ha empleado la siguiente fórmula en la metodología diseñada:

$$\mu = \frac{\text{Volumen Combustible(L)} * 100}{\text{Distancia recorrida (km)}}$$

Donde los datos de distancia recorrida se introducen al caracterizar la flota, y el volumen de combustible ya ha sido previamente calculado.

En la fórmula se multiplica por 100 para obtener los litros consumidos por cada 100 km recorridos, que es un estándar comparativo en el sector de automoción.

- **Energía Eléctrica Equivalente, MWh:** para el cálculo de los MWh consumidos para cada tipo de vehículo se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{MWh} = \frac{\text{kg CO}_2}{\frac{1000\text{kg}}{\text{t}} * \text{Mix Energético}} = \frac{\text{kg CO}_2}{\frac{1000\text{kg}}{\text{t}} * 0,36 \text{ t CO}_2/\text{MWh}}$$

Donde:

kg CO₂: se explica cómo se calcula más adelante, en la emisión de Gases de Efecto Invernadero, que una vez introducidas las fórmulas correspondiente en toda la herramienta, cuando se caracterice la flota todos los cálculos se realizan de forma simultánea.

Mix Energético: se entiende por Mix Energético al conjunto de tecnologías que se utilizan para la satisfacción de la demanda eléctrica a cada instante en un determinado país. En España, este valor es la cantidad de energía eléctrica consumida por toneladas de CO₂. Actualmente, este dato es de 0,36 t CO₂ / MWh. El valor del mix energético se ha empleado para disponer de un indicador comparativo entre el sector transporte y el resto de sectores industriales, que miden su impacto en emisiones de GEI en función de los MWh. De esta forma, la herramienta se presenta como una potente innovación en cuanto a la posibilidad de incluir a las empresas de transporte por carretera en el comercio de emisiones de CO₂, ya que permite la cuantificación de sus operaciones.

Se divide entre 1000 en la ecuación para corregir las unidades.

3) Por último, en la metodología diseñada en el actual Proyecto Fin de Carrera, se calcula el total del consumo energético, es decir, el consumo agregado, para ello basta con realizar el sumatorio de los parámetros obtenidos en el paso 2 para cada conjunto de clase de vehículos que han sido obtenidos de la misma manera, esto se realiza para el caso del cálculo de la masa de combustible total (kg), volumen de combustible total (L) y MWh. Sin embargo, para el caso del rendimiento (L/100km) se hace un promedio de los valores obtenidos para cada conjunto del mismo tipo de vehículos, y ese promedio obtenido es el rendimiento medio que se considerará de la flota de vehículos caracterizada.

Validación de Modelos

La validación del modelo se realiza para comprobar el error cometido al estimar las emisiones contaminantes y el consumo energético a través de la herramienta EXCEL que se desarrolla en este Proyecto Fin de Carrera. Para ello se comparan los datos obtenidos realmente con los estimados a partir del uso de la herramienta, empleando datos de una flota de vehículos real a la cual se le ha realizado una Auditoría Energética donde se ha cuantificado su inventario energético y medioambiental. En el punto 5 del presente Proyecto Fin de Carrera se muestran los resultados obtenidos en los procesos de validación llevados a cabo.

MODELOS DE EMISIONES CONTAMINANTES

Identificación de Modelos

Para los modelos de emisiones contaminantes (estimación de Gases de Efecto Invernadero y estimación de Contaminantes Primarios) se han identificado los modelos existentes a partir del estudio de bibliografía, artículos, documentos técnicos, etc. Este estudio de Modelos de Emisiones Contaminantes fue realizado en el punto 3.2 del

presente Proyecto Fin de Carrera, en el cual se explica detalladamente cada modelo con sus características y metodología.

Desarrollo de Modelos

El desarrollo de estos modelos identificados se tiene que realizar en este momento. Al igual que la Identificación de Modelos, este desarrollo se ha detallado en el punto 3.2 del presente Proyecto Fin de Carrera.

Una vez analizados todos los modelos se ha decidido utilizar la metodología EMEP/CORINAIR basada en la velocidad media, ya que es la forma de estimar emisiones atmosféricas como consecuencia del tráfico implantada en Europa.

Además, esta metodología, como ya se ha comentado, es común tanto para el cálculo de consumo energético (litros de combustible) como para el cálculo de emisiones contaminantes (Gases de Efecto Invernadero, CO₂ especialmente y Contaminantes Primarios). Por estos motivos, la metodología EMEP/CORINAIR va a ser el modelo escogido en este Proyecto Fin de Carrera para el diseño de Inventarios Energéticos y Medioambientales aplicados a flotas de transporte por carretera.

El cálculo de las emisiones de los diferentes contaminantes, tanto de gases de efecto invernadero como gases contaminantes primarios, se realiza al igual que el cálculo de consumo de combustible en una fase posterior al proceso de caracterización de la flota y de los servicios llevados a cabo, basándose en los resultados que proporciona dicha información.

En la siguiente figura se resumen los pasos que se han llevado a cabo para el desarrollo de la metodología adaptada para el cálculo de las emisiones contaminantes consideradas en el presente Proyecto Fin de Carrera, los cuales se explican a continuación.



Fig 39. Cálculo de consumos energéticos y emisiones contaminantes en flotas de transporte

1) En primer lugar, con la toma de datos y el seguimiento de los vehículos de transporte, se conoce la distancia de cada ruta por la que circula cada vehículo y el tiempo transcurrido en cada recorrido, así como la cantidad de vehículos que circulan por ella. Con esta información de base, se obtienen la velocidad media en cada tramo, el tipo de conducción (urbana, rural, carretera) y el porcentaje de carga del vehículo (en

función de los servicios realizados). Por otra parte se caracteriza la pendiente media del terreno.

Para cada ruta definida, los datos necesarios que hay que recabar son:

- Número de vehículos (vehículos por tipología).
- Tiempos de viajes.
- Distancia de la ruta.
- Pendiente del terreno.
- Carga del vehículo.
- Tipo de conducción (urbana, rural, carretera).

Al conocer el tiempo de viaje y la distancia en cada una de las rutas, se obtiene fácilmente la velocidad media de cada tramo, de la misma forma que en el paso 1 del cálculo de consumo energético.

2) En este segundo paso se calculan de forma desagregada las emisiones contaminantes (GEI y Contaminantes Primarios). Mediante una expresión que relaciona la velocidad media, el tipo de conducción, la carga y la pendiente con el consumo de combustible y emisiones contaminantes de cada vehículo por tipología, se obtienen las emisiones por unidad de distancia y vehículo. Cabe resaltar que existe una expresión por tipología de vehículo, clasificando por combustible, carga, norma...

Una vez conocidos los datos iniciales, se determinan las expresiones de cálculo para los factores de emisión, para aplicar en cada conjunto de vehículos. Es decir, para cada una de las categorías contempladas en la metodología que se está diseñando se les asignan las expresiones correspondientes para cálculo de emisiones contaminantes.

Gases de Efecto Invernadero

- **Dióxido de carbono, CO₂, (kg):** para el cálculo de emisiones de dióxido de carbono se hace uso de la tabla 12, que pertenece a la metodología EMEP/CORINAIR, para obtener los ratios de H/C y O/C para cada tipo de combustible empleado que se introducen en la siguiente ecuación:

$$E_{CO_2,j,m}^{CALC} = 44.011 \cdot \left(\frac{FC_{j,m}^{CALC}}{12.011 + 1.008r_{H,C,m} + 16r_{O,C,m}} - \frac{E_{j,m}^{CO}}{28.011} - \frac{E_{j,m}^{VOC}}{13.85} - \frac{E_{j,m}^{EC}}{12.011} - \frac{E_{j,m}^{OM}}{13.85} \right)$$

Para cada tipo de vehículo se utiliza la fórmula anterior, donde:

$E_{CO_2,j,m}^{Calc}$: emisiones de CO₂ (kg) calculadas mediante la metodología para una determinada categoría de vehículo j , que utiliza el combustible m .

$FC_{j,m}^{Calc}$: masa de combustible (kg) calculada para el vehículo de tipo j y combustible m .

$E_{j,m}^{CO}$: emisiones de monóxido de carbono para el vehículo de tipo j y combustible m . Este dato se calcula en las emisiones contaminantes, que se explica más

adelante. Aunque la herramienta, al ser automática, calcula todos los valores simultáneamente.

$E_{j,m}^{VOC}$: emisiones de compuestos orgánicos volátiles para el vehículo de tipo j y combustible m . Este dato se calcula también en las emisiones contaminantes, que se explica más adelante.

$E_{j,m}^{EC}$ y $E_{j,m}^{OM}$: no se tiene en cuenta en la metodología diseñada en el presente Proyecto Fin de Carrera, ya que se refiere a las emisiones de contaminantes en estado elemental, las cuales no se producen...

$r_{H:C,m}$: ratio H/C correspondiente al combustible m , que se tiene de la tabla 12.

$r_{O:C,m}$: ratio O/C correspondiente al combustible m , que se tiene de la tabla 12.

- **Metano, CH₄, (kg)**: las emisiones de metano se calculan con la siguiente ecuación:

$$E_{CH_4} = n^{\circ} \text{vehículos} * \text{distancia recorrida(km)} * \text{factor de emisión} \left(\frac{\text{mg}}{\text{km}}\right) / 1000000$$

Donde:

Nº vehículos: es el número de vehículos de cada tipo introducidos al caracterizar la flota.

Distancia recorrida (km): es la distancia media recorrida por vehículos de cada tipo introducida al caracterizar la flota.

Factor de emisión (mg/km): en el caso del cálculo de emisiones de metano, el factor de emisión se calcula teniendo en cuenta el tipo de conducción introducido al caracterizar la flota y se hace uso de tabla 15, donde para cada clase de vehículo (según norma) se obtienen los factores de emisión (mg/km) correspondientes a cada tipo de conducción (urbano, rural y carretera).

La fórmula general se divide por 1000000 para corregir las unidades de mg a kg.

Contaminantes Primarios

- **Monóxido de carbono, CO (kg)**: para el cálculo de las emisiones de CO es necesario distinguir los tipos de vehículos a la hora de realizar los cálculos. La fórmula que se emplea es la siguiente:

$$E_{CO} = n^{\circ} \text{vehículos} * \text{distancia recorrida(km)} * \text{factor de emisión} \left(\frac{\text{g}}{\text{km}}\right) / 1000$$

Donde:

Nº vehículos: es el número de vehículos de cada tipo introducidos al caracterizar la flota.

Distancia recorrida (km): es la distancia media recorrida por vehículos de cada tipo introducida al caracterizar la flota.

Factor de emisión (g/km): en el caso del cálculo de emisiones de CO para obtener el factor de emisión se calcula haciendo uso de tablas de la metodología EMEP/CORINAIR donde se pueden encontrar diversas fórmulas para el cálculo

de factores de emisión en función de la velocidad calculada en el primer paso para cada tipo de vehículo considerado en la presente metodología.

Se divide la fórmula de emisiones de CO entre 1000 para corregir las unidades de g a kg.

- **Óxidos de nitrógeno, NO_x, (kg):** los cálculos para obtener las emisiones de NO_x se realizan de la misma forma que para el monóxido de carbono, tomando los datos en las tablas correspondientes de la metodología EMEP/CORINAIR.

$$E_{NO_x} = n^{\circ} \text{ vehículos} * \text{ distancia recorrida(km)} * \text{ factor de emisión } \left(\frac{\text{g}}{\text{km}} \right) / 1000$$

- **Compuestos Orgánicos Volátiles, COV, (kg):** las emisiones de COV se calculan de igual modo que las emisiones contaminantes anteriores.

$$E_{COV} = n^{\circ} \text{ vehículos} * \text{ distancia recorrida(km)} * \text{ factor de emisión } \left(\frac{\text{g}}{\text{km}} \right) / 1000$$

- **Materia, PM, (kg):** las emisiones de PM se obtienen utilizando la siguiente fórmula para cada tipo de vehículo:

$$E_{PM} = n^{\circ} \text{ vehículos} * \text{ distancia recorrida(km)} * \text{ factor de emisión } \left(\frac{\text{g}}{\text{km}} \right) / 1000$$

- **Metales pesados, (mg):** los metales pesados emitidos en transporte por carretera son Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Selenio (Se) y Zinc (Zn). Para todos ellos se emplea la misma fórmula para el cálculo de sus emisiones:

$$E_i = \text{ Masa Combustible (kg)} * \text{ factor de emisión } \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg cble}} \right)$$

Donde *i* representa a cada metal pesado considerado en la metodología.

Para la obtención de los factores de emisión correspondientes a cada metal pesado se hace uso de la figura 16, donde para cada categoría de vehículo se tiene el valor del factor de emisión correspondiente.

3) El último paso es obtener las emisiones de forma agregada, para ello se realiza el sumatorio de cada valor de emisiones contaminantes calculados anteriormente (para cada tipo de contaminante) de todas las categorías de vehículos.

Validación de Modelos

Al igual que con los Modelos de Consumo Energético, se realiza una validación del modelo empleado en la metodología para comprobar que no hay un error demasiado significativo y por tanto que la herramienta diseñada se pueda considerar válida para su empleo por parte de los gestores de flotas de transporte por carretera.

HERRAMIENTA DE CÁLCULO DE INVENTARIO ENERGÉTICO Y MEDIOAMBIENTAL

A continuación, se explica la herramienta de cálculo diseñada en el presente Proyecto Fin de Carrera para tal fin. La herramienta EXCEL se ha denominado “Inventarios Energéticos y Medioambientales – Flotas Sostenibles”.

Para la aplicación de la metodología diseñada se ha creado una herramienta en soporte EXCEL que permite la obtención de Inventarios Energéticos y Medioambientales correspondientes a cualquier flota de transporte por carretera que se considere a partir de los cálculos basados en la metodología EMEP/CORINAIR.

Dicha herramienta realizada en EXCEL se ha dividido en varias hojas para la obtención de los Inventarios que se desean conseguir, estas hojas se van a explicar detalladamente, y son las siguientes:

1. Introducción.
2. Caracterización de la Flota de Vehículos.
3. Inventario Energético y Medioambiental para vehículos cuyo combustible empleado es gasolina.
4. Inventario Energético y Medioambiental para vehículos ligeros cuyo combustible empleado es diesel.
5. Inventario Energético y Medioambiental para vehículos pesados rígidos cuyo combustible empleado es diesel.
6. Inventario Energético y Medioambiental para vehículos pesados articulados cuyo combustible empleado es diesel.
7. Inventario Energético y Medioambiental de la Flota.
8. Medidas de Actuación.

Introducción

La primera hoja es la introducción, en ella se citan el resto de hojas de la herramienta (cada punto numerado anteriormente de la b, a la h corresponde a una hoja de la herramienta), incluyendo enlaces a cada hoja para poder ir directamente a la parte de la herramienta a la que se quiera acudir, para facilitar la navegación.

Caracterización de la Flota de Vehículos

En esta parte de la herramienta se caracteriza la flota de transporte a la cual se le quiere aplicar la metodología para obtener su Inventario Energético y Medioambiental.

En la caracterización de la Flota de Vehículos se han clasificado los vehículos por tipo de combustible empleado y estos a su vez se subdividen según el peso de los vehículos contemplados en la metodología que se está diseñando.

En la siguiente figura se muestra dicha clasificación, que consta con enlaces directos a cada tipología para caracterizar la flota según el tipo de vehículos que contenga:

INVENTARIOS ENERGÉTICOS Y MEDIOAMBIENTALES FLOTAS SOSTENIBLES					
A) CARACTERIZACIÓN DE LA FLOTA DE VEHÍCULOS					
TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS	GASOLINA	Ligeros / Pesados	INTRODUCCIÓN DE DATOS	INVENTARIOS ENERGÉTICOS Y MEDIOAMBIENTALES	
		DIESEL	Ligeros		
			Pesados - Rígidos		
			Pesados - Articulados		

Fig 40. Caracterización de la flota de vehículos – herramienta EXCEL

Para caracterizar la flota hay que introducir ciertos datos que son necesarios en los posteriores cálculos que se realizan para obtener los Inventarios Energéticos y Medioambientales. Los datos que se introducen para cada tipología son:

- Número de vehículos.
- Velocidad media.
- Distancia recorrida.
- Tipo de conducción (% urbano, % rural y % carretera).
- Carga (%) para vehículos pesados.

A la hora de caracterizar la flota, hay que tener en cuenta la Norma EURO del vehículo a caracterizar dentro de cada tipología.

Las hojas a rellenar para caracterizar la flota de vehículos son similares a la tabla de las siguientes figuras:

INVENTARIOS ENERGÉTICOS Y MEDIOAMBIENTALES FLOTAS SOSTENIBLES							
1) Vehículos Gasolina							
Tn	Vehículos - Gasolina			Servicio		Conducción [%]	
	Norma EURO	Nº Vehículos	Velocidad media	Distancia recorrida	Urbano	Rural	Carretera
< 3,5 Tn	EURO 1						
	EURO 2						
	EURO 3						
	EURO 4						
	EURO 5						
	EURO 6						
> 3,5 Tn	Todas						

Fig 41. Caracterización vehículos de gasolina – herramienta EXCEL

INVENTARIOS ENERGÉTICOS Y MEDIOAMBIENTALES FLOTAS SOSTENIBLES								
3) Vehículos Diesel Pesados - Rígidos								
vehículos pesados - Diesel RÍGIDO			Servicio		Conducción [%]			Carga [%]
Tn	Norma EURO	# Vehículo	Velocidad media	Distancia recorrida	Urbano	Rural	Carretera	
3,5 - 7,5 Tn	EURO I							
	EURO II							
	EURO III							
	EURO IV							
	EURO V							
	EURO VI							
7,5 - 12 Tn	EURO I							
	EURO II							
	EURO III							
	EURO IV							
	EURO V							
	EURO VI							
12 - 14 Tn	EURO I							
	EURO II							
	EURO III							
	EURO IV							
	EURO V							
	EURO VI							
14 - 20 Tn	EURO I							
	EURO II							
	EURO III							
	EURO IV							
	EURO V							
	EURO VI							

Fig 42. Caracterización vehículos diesel pesados rígidos – herramienta EXCEL

Hay tablas como las mostradas arriba para la caracterización de vehículos diesel ligeros y diesel pesados articulados.

Una vez introducidos los datos correspondientes a la caracterización de la flota, la herramienta EXCEL calcula automáticamente el Inventario Energético y Medioambiental en hojas posteriores, en las cuales no hay que modificar ni introducir ningún dato, todos son cálculos automáticos. Los cálculos introducidos en la herramienta están basados en la metodología EMEP/CORINAIR, como se ha detallado antes en el desarrollo de modelos, para el cálculo del consumo energético, contaminantes primarios y gases de efecto invernadero.

En la herramienta EXCEL diseñada en el presente Proyecto Fin de Carrera, los cálculos realizados son los comentados en los desarrollos de Modelo de Consumo Energético y Modelo de Emisiones Contaminantes. Caben resaltar algunos aspectos realizados para poder adaptar la metodología EMEP/CORINAIR a la metodología diseñada.

Inventarios Energéticos y Medioambientales según tipo de vehículo

En las hojas 3, 4, 5 y 6 de la herramienta diseñada se muestran los Inventarios Energéticos y Medioambientales para cada tipo de vehículo (clasificados por hojas).

Inventario Energético y Medioambiental de la Flota

En esta hoja de la herramienta se resume el Inventario Energético y Medioambiental final de la flota de transporte considerada, donde se muestran los valores de forma agregada para los Inventarios.

4.2. Estimación del Impacto Energético y Medioambiental por la Implantación de Medidas de Mejora

El Impacto de Medidas de Mejora consiste en ver qué consecuencias energéticas y medioambientales conlleva actuar sobre la gestión de la flota, realizando determinadas medidas de mejora en las operaciones o en los propios vehículos. Esta problemática es común a todos los gestores de flotas de transporte por carretera, ya que no disponen de herramientas para poder valorar el mencionado impacto energético y medioambiental, por lo que la herramienta diseñada intenta solventar dichos problemas.

Con la herramienta diseñada en el presente Proyecto Fin de Carrera, una vez obtenido el Inventario Energético y Medioambiental para una flota de transporte en cuestión, se puede ver el ahorro energético y medioambiental que conllevaría aplicar las medidas de mejora contempladas en la herramienta creada en EXCEL, es decir, se pretende obtener con este paso de la metodología el Impacto Energético y Medioambiental que supone implantar determinadas medidas de mejora a la flota de transporte, a partir de una preselección de actuaciones que modifiquen la gestión.

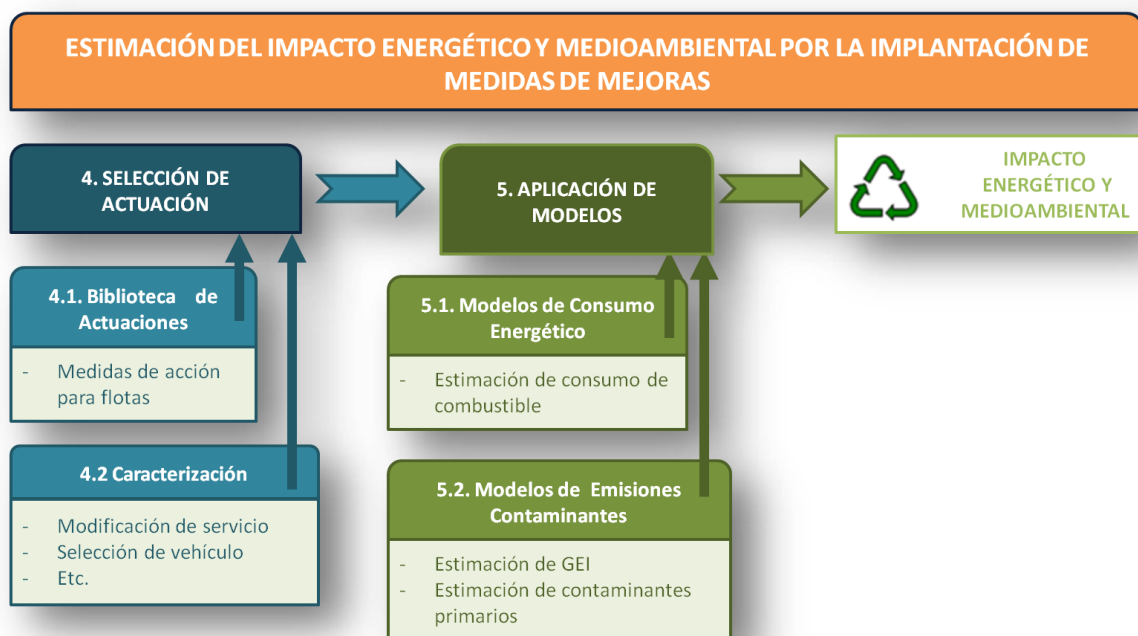


Fig 43. Metodología para la Estimación del Impacto Energético y Medioambiental por la Implantación de Medidas de Mejora

Como se puede observar en la figura, la numeración continúa a la de la figura 24 pues son los pasos a realizar uno tras otro para poder ir completando la metodología diseñada en este Proyecto Fin de Carrera, después del cálculo del Inventario inicial.

A continuación se explican los pasos que se realizan dentro de esta parte de la metodología diseñada.

4.2.1. Selección de Actuación

Para la selección de actuación o medida de mejora adecuada por parte del gestor de flotas, se ha diseñado una batería de mejoras plasmada en una Biblioteca de Actuaciones, que posteriormente deberán de caracterizarse de manera individual para permitir la consecución del ahorro en consumo y reducción de emisiones por su puesta en marcha.

BIBLIOTECAS DE ACTUACIÓN

Se analizan todas las medidas de mejora de Bibliotecas de Actuación comentadas en el punto 3, y se seleccionan las que tienen influencia directa sobre el consumo energético y emisiones contaminantes.

Las medidas de mejora que se han tenido en cuenta en la metodología diseñada son las siguientes:

Ámbito de actuación	Medidas de mejora
Operaciones	Optimización de rutas Optimización de servicios Plan de mantenimiento (neumáticos) Optimización de recursos Plan de gestión de combustible Maximización de capacidad de vehículos
Sistemas Telemáticos	Seguimiento y control mediante GPS
Vehículos	Mejoras aerodinámicas Limitadores de velocidad
Conductores	Formación en conducción eficiente Campaña contra el ralentí
Sistema de Propulsión (Plan de renovación de vehículos)	Biocarburantes (biodiesel) Gas natural Autogás Vehículo eléctrico Hidrógeno

Tabla 29. Medidas de mejora consideradas en la herramienta utilizada

No se tienen en cuenta todas las medidas de mejora comentadas en el punto de Biblioteca de Actuación (ver punto 3), pues para la herramienta diseñada algunas medidas influyen de manera indirecta y no se pueden manipular directamente para

calcular una estimación del impacto. Estas medidas son: *gestión de costes, elementos complementarios al motor, motivación e incentivos al personal.*

Tampoco se realizan operaciones para *vehículo eléctrico* ni de *hidrógeno*, ya que para los primeros lo que se utilizan en su lugar son vehículos híbridos, en los que se considera que se produce una reducción de un 20% de combustible, ya que en la actualidad no hay camiones eléctricos de alta capacidad, la tecnología está en proceso de implantación en turismos. En el caso de los vehículos de hidrógeno no son rentables debido al elevado coste que conlleva el proceso de producción de hidrógeno para tal fin.

CARACTERIZACIÓN

En este paso de la metodología se escogen las medidas de mejora a implantar teniendo en cuenta qué parámetros de la caracterización de la flota son los que influyen directamente sobre la medida de mejora en cuestión.

En la herramienta EXCEL, se ha diseñado una hoja para cada medida de mejora diseñada, en cada una de ellas el primer paso, para ver el ahorro energético que conllevaría la aplicación de la medida, es caracterizar la medida de mejora con los parámetros que se estiman que influyen sobre la actuación, esto es, reducción de kilómetros recorridos, cambio de tecnología del vehículo, etc. Al caracterizar estos parámetros, se obtiene, en la propia hoja EXCEL, el ahorro energético y medioambiental que supone aplicar la medida de mejora.

Las metodologías de cálculo de ahorro energético y medioambiental se han subdividido en dos tipos: Medidas de mejora genéricas y medidas de mejora particularizadas. Ambas se describen a continuación:

A) Medidas de Mejora Genéricas

Los parámetros que influyen, en general, directamente sobre las medidas de mejora se citan a continuación, y son los que habrá que caracterizar de la forma más óptima posible para conseguir una estimación de ahorro energético y medioambiental que se acerque lo máximo posible a la realidad.

- Número de vehículos
- Distancia media recorrida (km)
- Velocidad media (km/h)
- Tipo de conducción (% rural, % urbano, % carretera)
- Carga (para vehículos diesel pesados)

Esta metodología genérica permite su aplicación a un abanico considerable de medidas de actuación específicas, pero que para la obtención de su impacto energético y medioambiental necesitan de cálculos similares.

Las tablas a rellenar para caracterizar cada medida de mejora son similares a la tabla mostrada en la siguiente figura:

Diseño de una Metodología para la Estimación de Consumo Energético y Emisiones Contaminantes en Flotas de Transporte por Carretera

Vehículos pesados - Diesel RÍGIDOS						Modificaciones Servicio				Modificaciones Tipo Conducción					
Tn	Norma EURO	Carga Inicial	Carga	Nº Veh. inicial	Nº Veh.	Distancia inicial	Distancia	Vel. media Inicial	Vel. media	Urbano	Rural	Carretera	Urbano	Rural	Carretera
3,5 - 7,5 Tn	EURO I	0%													
	EURO II	0%													
	EURO III	0%													
	EURO IV	0%													
	EURO V	0%													
	EURO VI	0%													
7,5 - 12 Tn	EURO I	0%													
	EURO II	0%													
	EURO III	0%													
	EURO IV	0%													
	EURO V	0%													
	EURO VI	0%													
12 - 14 Tn	EURO I	0%													
	EURO II	0%													
	EURO III	0%													
	EURO IV	0%													
	EURO V	0%													
	EURO VI	0%													

Fig 44. Caracterización de medidas de mejora para vehículos pesados rígidos – herramienta EXCEL

Donde en las columnas de color azul aparecen los datos iniciales incluidos al caracterizar la flota de transporte que se está estudiando, antes de realizar las medidas de mejora, es decir, son los parámetros de referencia de la situación actual de la flota.

Las columnas en blanco son los parámetros modificables que tienen influencia directa sobre la medida de actuación, es decir, son los datos que se pueden caracterizar para poder ver el ahorro energético y medioambiental que se podría conseguir al aplicar la medida de mejora.

Se muestra en la siguiente tabla los parámetros que influyen de forma directa sobre el inventario, a partir de la caracterización de las cuales se puede conseguir un ahorro energético y medioambiental.

Medidas de mejora	Parámetros a caracterizar				
	Nº vehículos	Distancia	Velocidad media	Tipo de conducción	Carga
Optimización de rutas	X	X	-	-	-
Optimización de servicios	X	-	X	-	-
Optimización de recursos	X	X	X	X	-
Maximización de capacidad de vehículos	X	X	X	-	X
Seguimiento y control mediante GPS	X	X	X	-	-
Limitadores de velocidad	X	-	X	-	-

Tabla 30. Parámetros a modificar en determinadas medidas de mejora

Hay que decir, que para cada medida de mejora se realiza la caracterización para cada tipo y categoría de vehículos.

Comentar también, que la medida de mejora “*Maximización de capacidad de vehículos*” sólo se realiza para vehículos diesel pesados (rígidos y articulados), ya que son los únicos en los que se tiene en cuenta el parámetro de carga.

Por último, hay medidas de mejora donde las tablas a rellenar son diferentes, y que se han adaptado para el cálculo de su impacto en la implantación. A continuación se explican las excepciones a la metodología general de impacto, a las cuales ha sido necesaria realizar una adaptación para su inclusión en la herramienta:

B) Medidas de Mejora Particularizadas

A continuación se enumeran y describen brevemente ciertas medidas de mejora que se han tenido que considerar de manera individual y para las cuales se ha diseñado un procedimiento específico para la obtención de su impacto en la implantación.

- **Plan de mantenimiento:** se indica el número de vehículos al que se le van a modificar los neumáticos, la distancia media recorrida por dichos vehículos, el tipo de neumáticos que tenían estos vehículos y por el tipo de neumáticos que se van a sustituir.

Se considera que hay que cambiar de neumáticos rigiéndose por la siguiente figura, que representa el futuro etiquetado obligatorio de los neumáticos:

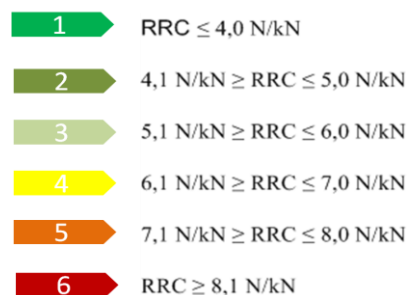


Fig 45. Clasificación y presión de neumáticos

- **Plan de gestión de combustible:** en este caso, se considera que la implantación de un Plan de Gestión de Combustible supone un ahorro medio del 5 % del consumo de combustible. Por lo que no hay que caracterizar ningún parámetro, sino que es un parámetro global de la flota, ya que su impacto es a nivel de conjunto.
- **Mejoras aerodinámicas:** se indica la mejora aerodinámica que se va a aplicar y al número de vehículos al que se le aplican. A continuación se muestran las posibles mejoras aerodinámicas contempladas en la metodología diseñada, cada una de ellas supone un ahorro energético y medioambiental diferente.

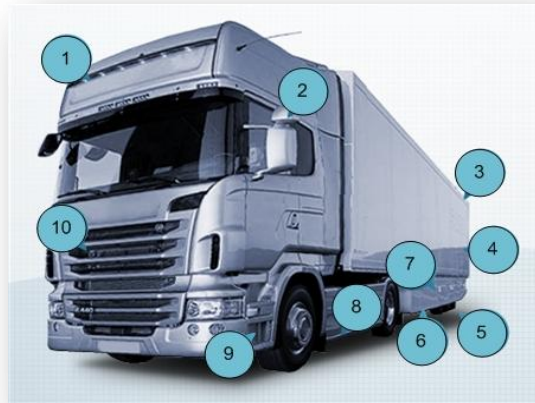


Fig 46. Mejoras aerodinámicas

1. Forma del techo.
 2. Espejos aerodinámicos.
 3. SDR.
 4. Cola fija/plegable.
 5. Guardabarros aerodinámico.
 6. Faldones laterales abiertos.
 7. Aletas laterales.
 8. Panel lateral.
 9. Defensas laterales.
 10. Deflectores.
- **Formación en conducción eficiente:** en la caracterización de esta medida se indica el tipo de formación, la distancia media recorrida y el número de conductores que reciben el tipo de formación correspondiente. Los tipos de formación contemplados son:
 1. Elemental (sólo teoría).
 2. Básico (formación práctica limitada).
 3. Avanzado (formación completa teórica y práctica).
 4. Experto (curso entrenadores).
 - **Campaña contra el ralentí:** se considera una reducción de 2 litros de combustible por hora que está en ralentí el vehículo. Para poder realizar los cálculos de ahorro, se indica el número de vehículos y la reducción media de tiempo de ralentí en la caracterización de la medida.

- **Biocarburantes:** en el caso de empleo de biocarburantes se podría sustituir la gasolina por bioetanol, pero no se realizan cálculos para dicha sustitución ya que no se dispone de los datos necesarios para el cálculo, además de que en España no hay vehículos pesados que usen bioetanol, excepto en casos muy concretos y aislados. Sin embargo, para el diesel, que se sustituye por biodiesel, si se disponen de todos los datos necesarios y en un combustible totalmente implantado en las flotas de vehículos, incluso, para el caso de flotas de autobuses urbanos es obligatorio su uso. Para caracterizar esta medida de mejora se indica el número de vehículos de la flota a los que se les cambia el tipo de combustible y la calidad del mismo, se consideran tres tipos de biodiesel: B10, B20 y B100, se diferencian entre sí en el porcentaje de parte “bio” y parte de diesel.
- **Gas Natural y Autogás:** para caracterizar estas medidas de mejora se indica el número de vehículos de cada tipo a los que se le va a realizar el cambio de combustible por Gas Natural o por Autogás y la distancia media recorrida por ellos. En este caso, tampoco son tecnologías implantadas a nivel global en las flotas de transporte, pero merecen un estudio especial debido a su cada vez mayor presencia.

4.2.2. Aplicación de Modelos

Una vez seleccionadas las medidas de mejora, es hora de calcular el impacto que supondrán sus respectivas implantaciones en la flota de transporte por carretera en base al inventario energético y medioambiental previo. Para ello, se han adaptado los modelos de consumo energético y los modelos de emisiones contaminantes tal y como se describen a continuación.

MODELO DE CONSUMO ENERGÉTICO

Una vez seleccionadas y caracterizadas con las adecuadas previsiones de cambio de condiciones las medidas de mejora a aplicar en la flota de transporte en cuestión, se aplica la herramienta EXCEL para cada una de las medidas de mejora elegidas y se obtienen para cada una de ellas el cálculo del ahorro de Consumo Energético.

Con los cálculos que se explican más adelante, una vez caracterizadas las medidas de mejora, la herramienta muestra una tabla con el ahorro de consumo energético que supone la modificación realizada con respecto al consumo energético que se ha calculado en el Inventario Energético inicial.

Estas tablas son similares a la siguiente para cada medida de mejora:

Vehículos pesados - Diesel RÍGIDO		Ahorro Energético		
Tn	Norma EURO	Masa Cble	Volumen Cble	MWh
3,5 - 7,5 Tn	EURO I			
	EURO II			
	EURO III			
	EURO IV			
	EURO V			
	EURO VI	-	-	-
7,5 - 12 Tn	EURO I			
	EURO II			
	EURO III			
	EURO IV			
	EURO V			
	EURO VI	-	-	-
12 - 14 Tn	EURO I			
	EURO II			
	EURO III			
	EURO IV			
	EURO V			
	EURO VI	-	-	-
		0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 MWh

Fig 47. Ahorro de Consumo Energético para vehículos diesel pesados rígidos– herramienta EXCEL

Al igual que en la selección de actuaciones, se ha subdividido en dos grandes bloques, dependiendo de la metodología genérica o particularizada.

A) Medidas de Mejora Genéricas

Los cálculos introducidos en la herramienta para poder obtener el ahorro energético que supone la medida de mejora considerada con la caracterización correspondiente se detallan a continuación de forma general:

- **Ahorro de Masa de combustible (kg):** para cada grupo del mismo tipo de vehículos se calcula como la diferencia entre la masa de combustible que se había obtenido en el Inventario Energético y la masa de combustible obtenida utilizando la misma fórmula que para el Inventario Energético inicial pero con los valores introducidos en la caracterización de la medida de mejora. Según la medida de mejora considerada se usa una de las siguientes fórmulas:

$$Masa\ cble\ (kg\ cble) = \frac{n^{\circ}\ vehiculos * distancia\ recorrida(km) * factor\ de\ emisión\ (\frac{g}{km})}{1000}$$

$$Masa\ Cble\ (kg\ cble) = Volumen\ Cble\ (L\ cble) * Densidad\ Cble\ (\frac{kg}{L})$$

La primera de ellas se emplea en la herramienta diseñada para las siguientes medidas de mejora: *Optimización de Rutas, Optimización de Servicios, Optimización de Recursos, Maximización de Capacidad de Carga de Vehículos, Seguimiento y Control mediante GPS, y Limitadores de Velocidad*

La segunda fórmula se utiliza para el resto, es decir, para: *Plan de Mantenimiento, Mejoras Aerodinámicas, Formación en Conducción Eficiente, y Campaña contra el ralenti.*

En el caso de la medida de mejora “Plan de Gestión de Combustible” para considerar un ahorro del 5% basta con multiplicar por 0,05 la masa de combustible obtenida en el Inventario Energético inicial de la flota.

- **Ahorro de Volumen de combustible (L):** el volumen de combustible ahorrado se obtiene como el ahorro de masa de combustible obtenido anteriormente dividido entre la densidad del combustible cuando se ha utilizado para el cálculo de la masa de combustible la primera fórmula:

$$\text{Volumen cble (l cble)} = \frac{\text{Masa Cble (kg cble)}}{\text{Densidad combustible} \left(\frac{\text{kg}}{\text{L}}\right)}$$

Donde la densidad de combustible para la gasolina es 0,747 kg/L y para el diesel 0,832 kg/L.

En caso de que se utilice en el cálculo de la masa de combustible la segunda fórmula descrita, el volumen de combustible se calcula utilizando unos factores en función del tipo de medida considerada. Por ejemplo, para el cálculo del volumen de combustible cuando se aplica un Plan de Mantenimiento, estos factores serán función del tipo de neumático que se modifique y por el cual se modifique. En el caso de Formación de Conducción Eficiente dependerá del tipo de formación recibida por los conductores. Lo mismo ocurre con la aplicación de Mejoras Aerodinámicas. En estos casos, se obtienen de bibliografía los factores correspondientes a emplear en la fórmula del ahorro de volumen de combustible.

Para la medida de mejora “Campaña contra el ralenti” como se ha considerado un ahorro de 2L de combustible por hora que está en ralenti el vehículo. La fórmula para obtener el ahorro de volumen de combustible al aplicar esta medida de mejora es la siguiente:

$$\text{Volumen Cble (L)} = \frac{2 \frac{\text{L}}{\text{h}} * n^{\circ} \text{vehiculos} * \text{reducción media tiempo ralenti}(\text{min})}{60 \text{min/h}}$$

- **Ahorro de MWh:** se obtiene con la misma fórmula que en el Inventario Energético, pero utilizando las emisiones de CO₂ obtenidas con la medida de mejora aplicada (se explica más adelante, en el modelo de emisiones contaminantes).

$$\text{MWh} = \frac{\text{kg CO}_2}{\frac{1000 \text{kg}}{\text{t}} * \text{Mix Energético}} = \frac{\text{kg CO}_2}{\frac{1000 \text{kg}}{\text{t}} * 0,36 \text{ t CO}_2 / \text{MWh}}$$

Para los tres parámetros mencionados en el consumo energético, se realizan en primer lugar los cálculos de manera desagregada para cada tipo de vehículos, y en la última fila se calcula de forma agregada el total de ahorro que conlleva la medida de mejora considerada como el sumatorio del ahorro obtenido de cada parámetro para cada tipo de vehículos.

Para todas las medidas de mejora cuando se aplica la metodología se muestran los ahorros de masa de combustible, volumen de combustible y de MWh.

Comentar, que al realizar de manera agregada el total de ahorro energético se pueden dar tres casos:

1. **Ahorro = 0:** no se ahorra, se obtiene el mismo consumo energético sin aplicar la medida de mejora considerada que aplicándola.
2. **Ahorro < 0:** no se ahorra, por lo que no es conveniente aplicar la medida de mejora para la que resulta un ahorro menor que cero.
3. **Ahorro >0:** se ahorra al aplicar la medida de mejora, por lo que es conveniente utilizarla.

De esta forma, la herramienta permitirá un soporte cuantificado para valorar por parte de los gestores de flota aquellas medidas de acción que van a tener un mayor impacto positivo en su flota, y decidir paulatinamente que medidas son las más idóneas para su estrategia de mejora.

B) Medidas de Mejora Particularizadas

Cálculo para Plan de Mantenimiento

En el cálculo relacionado con el Plan de Mantenimiento se ha considerado exclusivamente el cambio de neumáticos. Para ello se ha recabado información sobre el impacto en el consumo en función del nuevo etiquetado energético de neumáticos que entrará en vigor en España en un periodo de tiempo corto, por lo que se antoja interesante desarrollar una herramienta que permita cuantificar su impacto de aplicación.

Para ello, se ha subdividido en tres tipologías de vehículos:

a) Vehículos Gasolina, Diesel Ligeros y Diesel Pesados Rígidos (hasta 12 Tn)

Se considera la sustitución de neumáticos de dirección (Steer Tire) y neumáticos motrices (Driver Tire).

b) Vehículos Diesel Pesados Rígidos (de más de 12 Tn)

Se considera la sustitución de neumáticos de dirección (Steer Tire), neumáticos motrices (Driver Tire) y neumáticos de remolques (Trailer Tire).

c) Vehículos Diesel Pesados Articulados

Se considera la sustitución de neumáticos de dirección (Steer Tire), neumáticos motrices (Driver Tire) y neumáticos de remolques (Trailer Tire).

Los parámetros para el cálculo de la reducción de consumo de combustible se han obtenido de un estudio llevado a cabo por Goodyear Dunlop reflejado en Fleet Fuel Efficiency, donde se muestra la mejora en eficiencia energética de cada tipología de neumático.

En las tablas siguientes se muestran en forma de matriz los datos de ahorro de combustible (L/100 km) para cada par de neumáticos:

MATRIZ Ahorro Combustible (l/100 Km)	Neumáticos Sustituídos				
	2	3	4	5	6
1	1,05	1,37	1,65	1,90	2,11
2		0,97	1,28	1,54	1,78
3			0,90	1,19	1,45
4				0,84	1,12
5					0,79

Tabla 31. Factores de ahorro en L/100 km para vehículos rígidos de hasta 12 Tn

MATRIZ Ahorro Combustible (l/100 Km)	Neumáticos Sustituídos				
	2	3	4	5	6
1	1,18	1,93	2,45	2,84	3,13
2		0,97	1,64	2,13	2,50
3			0,82	1,42	1,88
4				0,71	1,25
5					0,63

Tabla 32. Factores de ahorro en L/100 km para vehículos rígidos de más de 12 Tn

MATRIZ Ahorro Combustible (l/100 Km)	Neumáticos Sustituídos					
	2	3	4	5	6	
1	1,79	2,93	3,72	4,30	4,74	
2			1,47	2,48	3,22	3,79
3			1,24	2,15	2,85	
4			1,07	1,90		
5			0,95			
6			0,95			

Tabla 33. Factores de ahorro en L/100 km para vehículos articulados

El volumen de combustible ahorrado se calcularía en todos los casos con la siguiente expresión:

$$\text{Volumen cble (L cble)} = \frac{n^{\circ} \text{ vehículos} * \text{distancia recorrida (km)} * \text{factor de ahorro } \left(\frac{L}{100km}\right)}{100}$$

$$\text{Masa Cble (kg cble)} = \text{Volumen Cble (L cble)} * \text{Densidad Cble } \left(\frac{kg}{L}\right)$$

Cálculo para Plan de Gestión de Combustible

Se obtiene el ahorro de combustible considerando una media del 5 % de ahorro genérico, presentándose en masa de combustible y en volumen de combustible.

Como complemento se ha incluido una metodología de cálculo de retorno de la inversión, para estimar el beneficio de incluir un tanque de combustible propio en la flota, en base a las siguientes expresiones que comparan con el descuento obtenido en función de la diferencia de coste con el repostaje en gasolineras:

$$\text{Retorno de la inversión (días)} = \frac{\text{Coste de inversión (€)}}{\text{Ahorro } \left(\frac{€}{\text{día}}\right)}$$

$$\text{Ahorro } \left(\frac{€}{\text{día}}\right) = \frac{\text{Consumo } \left(\frac{L}{100 \text{ Km}}\right) * \text{distancia } \left(\frac{\text{Km}}{\text{Día}}\right) * \text{Descuento } \left(\frac{€}{L}\right)}{100}$$

Cálculo para Mejoras Aerodinámicas

El impacto de las mejoras aerodinámicas se ha parametrizado a partir de los datos recabados mediante el empleo del NEA Model Holandés. Dicho modelo fue desarrollado por Dunlop y TU Deff (Universidad holandesa).

Con los datos del modelo se ha realizado una calibración para diferentes tipos de vehículos y diversas mejoras aerodinámicas, que se resumen en la tabla siguiente, mostrando los litros de ahorro tras 100 kilómetros de distancia recorrida:

Mejora Aerodinámica	Factor de Ahorro (L/100 Km)		
	Vehículos Rígidos (< 12 Tn)	Vehículos Rígidos (> 12 Tn)	Vehículos Articulados
Forma del Techo	1,24	1,88	1,88
Espejos Aerodinámicos	0,03	0,04	0,04
SDR	0,16	0,24	0,24
Cola Fija/Plegable	0,84	1,27	0,24
Guardabarros Aerodinámicos	0,19	0,29	0,24
Faldones Laterales Abiertos	0,32	0,48	0,24
Aletas Laterales	0,97	1,47	0,24
Panel Lateral	0,16	0,24	0,24
Defensas Laterales	0,16	0,24	0,24
Deflectores	0,08	0,12	0,24

Tabla 34. Factores de ahorro en L/100 km para mejoras aerodinámicas

El volumen de combustible ahorrado se calcularía en todos los casos con la siguiente expresión:

$$\text{Volumen cble (L cble)} = \frac{n^{\circ} \text{ vehículos} * \text{distancia recorrida (km)} * \text{factor de ahorro} \left(\frac{\text{L}}{100\text{km}}\right)}{100}$$

$$\text{Masa Cble (kg cble)} = \text{Volumen Cble (L cble)} * \text{Densidad Cble} \left(\frac{\text{kg}}{\text{L}}\right)$$

Cálculo para Formación en Conducción Eficiente

Al igual que en el apartado anterior, la parametrización para ver el impacto de la formación en conducción eficiente se ha obtenido del modelo CEA 2011. Los resultados obtenidos para el factor de ahorro se presentan en la tabla:

Tipo de Formación	Factor de Ahorro (L/100 Km)	
	Vehículos Rígidos (< 12 Tn)	Resto de Vehículos Rígidos y Vehículos Articulados
Elemental	0,04	0,06
Básica	0,17	0,27
Avanzada	0,34	0,52
Experto	0,50	0,76

Tabla 35. Factores de ahorro en L/100 km para formación en conducción eficiente

El volumen de combustible ahorrado se calcularía en todos los casos con la siguiente expresión:

$$\text{Volumen cble (L cble)} = \frac{n^{\circ} \text{ veh\u00edculos} * \text{distancia recorrida (km)} * \text{factor de ahorro} \left(\frac{\text{L}}{100\text{km}}\right)}{100}$$

$$\text{Masa Cble (kg cble)} = \text{Volumen Cble (L cble)} * \text{Densidad Cble} \left(\frac{\text{kg}}{\text{L}}\right)$$

Cálculo para Campaña contra el Ralentí

En este caso se ha considerado un ahorro de 2 litros de combustible por cada hora que el vehículo deje de estar en ralentí, de manera que:

$$\text{Volumen cble (L cble)} = \frac{2 \text{ (L cble)} * \text{minutos que deja de estar en ralent\u00ed (min)}}{60}$$

Cálculo para Biocarburantes

El ahorro se obtiene en MWh únicamente a partir del cálculo de emisiones de CO₂.

Cálculo para Gas Natural y Autogás

Para el cálculo de la nueva masa de combustible con los datos introducidos en la caracterización de la medida en cuestión para cada tipo de vehículos, en el caso de GN y Autogás se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{Masa cble (kg)} = n^{\circ} \text{ veh\u00edculos modificados} * \text{distancia modificada (km)} * \text{factor emisión} \left(\frac{\text{kg}}{\text{km}}\right)$$

Donde:

Nº vehículos modificados y distancia modificada: han sido introducidos en la caracterización de la medida de mejora.

Factor de emisión: es diferente para el caso de emplear GN o Autogás. Se ha obtenido de bibliografía, siendo 0,706 kg/km para GN y 0,737 kg/km para Autogás.

MODELO DE EMISIONES CONTAMINANTES

El siguiente paso en la metodología diseñada es aplicar el Modelo de Emisiones Contaminantes para la obtención del ahorro de emisiones contaminantes a partir de la caracterización de cada medida de mejora seleccionada.

Una vez seleccionadas las medidas de mejora y caracterizados los datos correspondientes a cada una de ellas, se aplica la herramienta para el cálculo del ahorro del Modelo de Emisiones Contaminantes. Estas emisiones se muestran en unas tablas para cada medida de mejora similar a la tabla de la siguiente figura:

Vehículos ligeros - Diesel		Reducción GEI		Reducción Contaminantes Primarios										
Tn	Norma EURO	CO ₂	CH ₄	CO	NO _x	COV	PM	Metales Pesados						
<3,5Tn	EURO 1													
	EURO 2													
	EURO 3													
	EURO 4													
	EURO 5													
	EURO 6													
		0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,000 mg Cu	0,000 mg Cr	0,000 mg Ni	0,000 mg Se	0,000 mg Zn	

Fig 48. Ahorro de Consumo Medioambiental para vehículos diesel pesados ligeros– herramienta EXCEL

A) Medidas de Mejora Genéricas

En el Modelo de Emisiones Contaminantes se obtiene tanto el ahorro medioambiental en GEI como en Contaminantes Primarios, por lo que para explicar cómo se han realizado los cálculos de dichos ahorros se van a ver por separado, haciendo distinción entre GEI y Contaminantes Primarios.

Cálculo de reducción de GEI

- **Ahorro en emisiones de CO₂:** se calculan con la misma fórmula que para el Inventario Medioambiental inicial, pero sustituyendo los valores por los introducidos al caracterizar las medidas de mejora.

$$E_{CO_2,j,m}^{CALC} = 44.011 \cdot \left(\frac{FC_{j,m}^{CALC}}{12.011 + 1.008r_{H,C,m} + 16r_{O,C,m}} - \frac{E_{j,m}^{CO}}{28.011} - \frac{E_{j,m}^{VOC}}{13.85} \right)$$

En este caso, las emisiones de CO, de COV y la masa de combustible son diferentes a las del Inventario Medioambiental, ya que en la masa de

combustible se introduce el dato obtenido como ahorro de masa de combustible en el modelo de ahorro de consumo energético, y las emisiones de CO y COV varían con las modificaciones realizadas al caracterizar las medidas de mejora. Por tanto, al haberse introducido el ahorro de masa de combustible, el valor de emisiones de CO₂ obtenido con la fórmula anterior es directamente el ahorro en dichas emisiones conseguido con la medida de mejora aplicada.

En la hoja de la herramienta donde se calcula el impacto en el Inventario Medioambiental para la medida de mejora “*Plan de Mantenimiento*”, se tienen unos factores de ahorro de emisiones de CO₂ en función del tipo de neumático que se pretende sustituir, estos factores se obtienen de bibliografía (ver tablas 31, 32, 33). Lo mismo ocurre con las medidas de mejora: “Formación en Conducción Eficiente”, que se obtienen los factores de ahorro de CO₂ en función del tipo de formación que recibe el conductor.

- **Ahorro en emisiones de CH₄:** se calcula como la diferencia entre las emisiones de CH₄ obtenidas en el Inventario Medioambiental inicial y las emisiones de CH₄ que hay tras la caracterización de la medida de mejora (aplicando la misma fórmula que se utilizó para el Inventario Medioambiental inicial).

$$E_{CH_4} = n^{\circ} \text{vehículos} * \text{distancia recorrida(km)} * \text{factor de emisión} \left(\frac{\text{mg}}{\text{km}}\right) / 1000000$$

Cálculo de reducción contaminantes primarios

- **Ahorro en emisiones de CO:** se calcula como la diferencia entre las emisiones de CO obtenidas en el Inventario Medioambiental inicial y las emisiones de CO que hay (aplicando la misma fórmula que se utilizó para el Inventario Medioambiental inicial) con los valores introducidos al caracterizar la medida de mejora.
- **Ahorro en emisiones de NO_x:** se calcula también como la diferencia entre las emisiones de NO_x obtenidas en el Inventario Medioambiental inicial y las emisiones de NO_x que hay (aplicando la misma fórmula que se utilizó para el Inventario Medioambiental inicial) con los valores introducidos al caracterizar la medida de mejora.
- **Ahorro en emisiones de COV:** se calcula de igual modo que el ahorro de CO y NO_x, pero con las fórmulas y datos correspondientes a COV.
- **Ahorro en emisiones de PM:** se realiza de la misma manera que para las emisiones anteriores.
- **Ahorro en Metales Pesados:** para los metales pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Se y Zn) se realizan las mismas operaciones que para el Inventario Medioambiental, sino que en este caso la masa de combustible introducida en la ecuación es el ahorro de masa de combustible obtenido en el ahorro de consumo energético, por lo que el valor que se tiene en este caso es directamente el ahorro de emisiones en metales pesados.

Cabe destacar que cuando se emplean medidas de mejora con sustitución de combustible por un combustible alternativo a la gasolina y al diesel, como son:

biodiesel, Gas Natural y Autogás, estos combustibles alternativos son bastante más limpios y no emiten metales pesados.

Para todos los parámetros de ahorro calculados en la herramienta diseñada en el consumo de emisiones contaminantes, se realizan en primer lugar los cálculos de manera desagregada para cada tipo de vehículos, y en la última fila se calcula de forma agregada el total de ahorro que conlleva la medida de mejora considerada como el sumatorio del ahorro obtenido de cada parámetro para cada tipo de vehículos.

B) Medidas de Mejora Particularizadas

Cálculo para Plan de Mantenimiento

Ahorro en emisiones de CO₂

La metodología sigue el esquema descrito para el ahorro de combustible, adaptado a las emisiones de CO₂ mediante la siguiente expresión:

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ (Kg CO}_2\text{)} = \frac{n^{\circ} \text{ veh\acute{u}culos} * \text{ distancia recorrida (km)} * \text{ factor de ahorro } \left(\frac{\text{g}}{100\text{km}}\right)}{100000}$$

En las tablas siguientes se muestran en forma de matriz los datos de ahorro de CO₂ (g/100 km) para cada par de tipos de neumáticos:

MATRIZ Ahorro CO ₂ (g/100 Km)	Neumáticos Sustituídos					
	2	3	4	5	6	
1	2.7544	3.614	4.352	4.992	5.552	
2	/		2.543	3.357	4.063	4.681
3			2.362	3.134	3.810	
4			2.205	2.939		
5			2.068			
6						

Tabla 36. Factores de ahorro en g/100 km para vehículos rígidos de hasta 12 Tn

MATRIZ Ahorro CO ₂ (g/100 Km)	Neumáticos Sustituídos					
	2	3	4	5	6	
1	3.109	5.087	6.457	7.461	8.229	
2			2.543	4.304	5.596	6.583
3			2.152	3.730	4.937	
4			1.865	3.292		
5			1.646			
6						

Tabla 37. Factores de ahorro en g/100 km para vehículos rígidos de más de 12 Tn

MATRIZ Ahorro CO ₂ (g/100 Km)	Neumáticos Sustituídos					
	2	3	4	5	6	
1	1.792	2.933	3.722	4.301	4.744	
2			1.466	2.481	3.226	3.795
3			1.241	2.151	2.846	
4			1.075	1.898		
5			0.949			
6						

Tabla 38. Factores de ahorro en g/100 km para vehículos articulados

Cálculo para Mejoras Aerodinámicas

Ahorro en emisiones de CO₂

La metodología sigue el esquema descrito para el ahorro de combustible, adaptado a las emisiones de CO₂ mediante la siguiente expresión:

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ (Kg CO}_2\text{)} = \frac{n^{\circ} \text{ vehículos} * \text{ distancia recorrida (km)} * \text{ factor de ahorro } \left(\frac{g}{100km}\right)}{100000}$$

En las tablas siguientes se muestran en forma de matriz los datos de ahorro de CO₂ (g/100 km) para cada par de tipos de neumáticos:

Mejora Aerodinámica	Factor de Ahorro (g CO ₂ /100 Km)		
	Vehículos Rígidos (< 12 Tn)	Vehículos Rígidos (> 12 Tn)	Vehículos Articulados
Forma del Techo	3.257	4.938	4.938
Espejos Aerodinámicos	67	102	102
SDR	420	636	636
Cola Fija/Plegable	2.210	3.351	636
Guardabarros Aerodinámicos	509	772	636
Faldones Laterales Abiertos	839	1.273	636
Aletas Laterales	2.546	3.860	636
Panel Lateral	414	628	636
Defensas Laterales	414	628	636
Deflectores	207	314	636

Tabla 39. Ahorro de CO₂ (g/100 km) para cada par de tipos de neumáticos

Cálculo para formación en conducción eficiente

Ahorro en emisiones de CO₂

La metodología sigue el esquema descrito para el ahorro de combustible, adaptado a las emisiones de CO₂ mediante la siguiente expresión:

$$Emisiones\ CO_2\ (Kg\ CO_2) = \frac{n^{\circ}\ veh\ icos * distancia\ recorrida\ (km) * factor\ de\ ahorro\ (\frac{g}{100km})}{100000}$$

En las tablas siguientes se muestran en forma de matriz los datos de ahorro de CO₂ (g/100 km) para cada par de tipos de neumáticos:

Tipo de Formación	Factor de Ahorro (g/100 Km)	
	Vehículos Rígidos (< 12 Tn)	Resto de Vehículos Rígidos y Vehículos Articulados
Elemental	106	160
Básica	464	704
Avanzada	906	1.373
Experto	1.316	1.996

Tabla 40. Ahorro de CO₂ (g/100 km) para cada par de tipos de neumáticos

Cálculo para biocarburantes

Ahorro en emisiones de CO₂, CO, NO_x, COV y PM

Se ha hecho uso de una tabla en la cual se indica el efecto de reducción en las emisiones de cada contaminante y para cada tipo de vehículo. Una vez que se tiene dicho porcentaje de reducción se utiliza la siguiente fórmula para obtener el ahorro de contaminante con esta medida de mejora, de forma desagregada para cada tipo de vehículos:

$$\text{Ahorro emisiones} = (-\% \text{reducción}) * \frac{\text{Emisiones inventario inicial}}{n^{\circ} \text{vehículos inventario inicial}} * n^{\circ} \text{vehículos modificados}$$

Donde:

% reducción: valor tomado de la figura 49 al cual se le cambia el signo en la fórmula para obtener el ahorro.

Nº vehículos modificados: se refiere al número de vehículos al que se le va a modificar el combustible, este valor ha sido introducido previamente al caracterizar la medida.

Pollutant	Vehicle type	B10	B20	B100
CO ₂	Passenger Cars	-1.5%	-2.0%	
	Light Duty Vehicles	-0.7%	-1.5%	
	Heavy duty vehicles	0.2%	0.0%	0.1%
NO _x	Passenger Cars	0.4%	1.0%	
	Light Duty Vehicles	1.7%	2.0%	
	Heavy duty vehicles	3.0%	3.5%	9.0%
PM	Passenger Cars	-13.0%	-20.0%	
	Light Duty Vehicles	-15.0%	-20.0%	
	Heavy duty vehicles	-10.0%	-15.0%	-47.0%
CO	Passenger Cars	0.0%	-5.0%	
	Light Duty Vehicles	0.0%	-6.0%	
	Heavy duty vehicles	-5.0%	-9.0%	-20.0%
HC	Passenger Cars	0.0%	-10.0%	
	Light Duty Vehicles	-10.0%	-15.0%	
	Heavy duty vehicles	-10.0%	-15.0%	-17.0%

Fig 49. Efecto de reducción de biodiesel con respecto a vehículos diesel

En la última fila de la columna correspondiente al ahorro de cada contaminante se realiza de forma agregada el cálculo del ahorro total, como el sumatorio del ahorro para cada tipo de vehículos.

Cálculo para Gas Natural y Autogás

En este punto se va a explicar cómo se ha realizado la herramienta de cálculo en EXCEL para el cálculo de ahorro medioambiental en ambas medidas una vez caracterizadas dichas medidas. Se van a explicar de forma conjunta, pues todos los cálculos realizados en ambas medidas son similares.

Reducción GEI

- **Ahorro en emisiones de CO₂:** se calcula como la diferencia entre las emisiones de CO₂ obtenidas en el Inventario Medioambiental inicial y las nuevas emisiones de CO₂ calculadas con la misma fórmula que se calculó en el Inventario inicial (fórmula de la metodología EMEP/CORINAIR), con la única diferencia de que en este caso ha cambiado la masa de combustible al realizar la caracterización de la medida con el nuevo combustible (GN o Autogás).

Reducción Contaminantes Primarios

- **Ahorro en emisiones de CO, NO_x, COV y PM:** todos estos parámetros se calculan mediante la misma ecuación:

$$\text{Ahorro emisiones} = (\% \text{reducción}) * \frac{\text{Emisiones inventario inicial}}{n^{\circ} \text{vehículos inventario inicial}} * n^{\circ} \text{vehículos modificados}$$

La complejidad de esta ecuación es que, a diferencia que para el caso de emplear biocarburantes, no se disponen de datos bibliográficos para obtener directamente el factor de reducción en estas emisiones con respecto a utilizar gasolina o diesel.

Tanto para el Gas Natural como para el Autogás ha sido necesario desarrollar una parametrización para el cálculo del impacto de la medida de mejora. Con dicha parametrización se persigue conseguir los **porcentajes de reducción** correspondientes para cada tipo de vehículo y contaminante.

- **Gas Natural:** para el caso del GN, se disponen de los siguientes datos en bibliografía (ver fig. 15):

Los datos con los cuales ha sido realizada la gráfica 15 son los siguientes:

%	CO	COV	NO _x	PM
Euro I	100	100	100	100
Euro II	89	100	88	69
Euro III	47	60	63	36
Euro IV	33	42	44	6
Euro V	33	42	25	6
Euro VI	33	15	5	3

Tabla 41. *Límites de emisión para vehículos pesados rígidos GN*

Se sabe también, de bibliografía que la mejora respecto a la norma Euro V para cada contaminante es:

Contaminante	Mejora respecto Euro V (%)
NO_x	45
CO	81
COV	95
PM	100

Tabla 42. *Mejora respecto a Euro V para cada contaminante en GN (%)*

Estos datos bibliográficos están considerados para vehículos pesados rígidos con carga del 100%.

A partir de estos datos, se saca para cada componente el porcentaje de reducción de la siguiente manera:

1) NO_x

Como se sabe que para este contaminante, la mejora del GN es de un 45% respecto a la norma Euro V de diesel, esto quiere decir que las emisiones son de un 55%

(Total (100%) – mejora (45%)) de lo que emite el diesel para Euro V, que según la tabla 31 es un 25%. Con estos datos se puede hallar el porcentaje de emisión de NO_x para el GN, y el valor obtenido será el valor tomado como referencia para el cálculo de factores de emisión con respecto al resto de normas.

$$\text{Valor de referencia} = 25 * 0,55 = 13,75\%$$

Donde el valor de referencia se considera que es el porcentaje de emisiones de este contaminante cuando se utiliza GN.

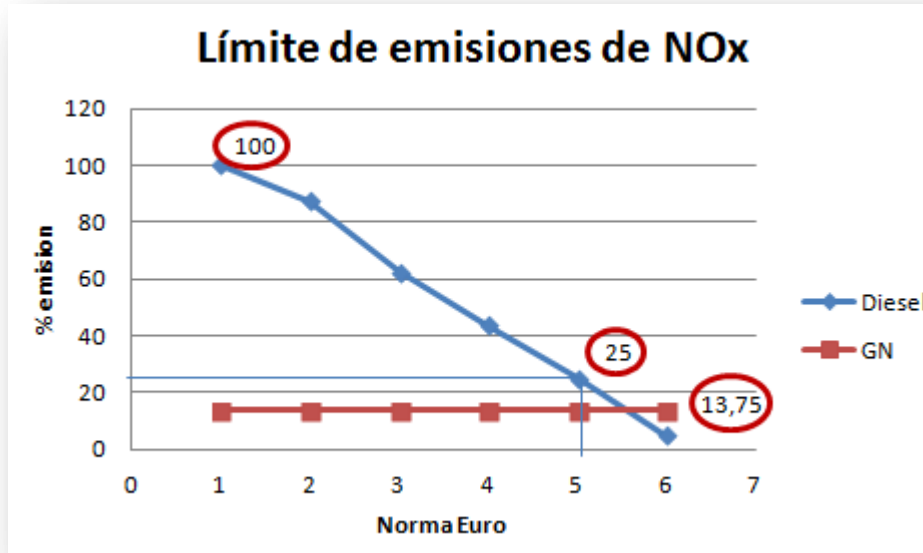


Fig 50. Límites de emisiones de NO_x para GN, obtención valor de referencia

Una vez que se tiene el valor de emisión de GN (13,75%), se puede obtener el valor de porcentaje de reducción para el resto de normas, con la siguiente fórmula:

$$\%reducción = \left[100 - \left(\frac{13,75}{\%emisión\ gráfica} * 100 \right) \right]$$

Donde el % de emisión de la gráfica es el valor tomado en la tabla 31.

Haciendo estos cálculos se obtienen los siguientes resultados:

%	% reducción
Euro I	86
Euro II	84
Euro III	78
Euro IV	69
Euro V	45
Euro VI	-175

Fig 51. Porcentajes de reducción para NO_x y GN – vehículos diesel pesados rígidos

Hay que destacar de la figura anterior, que un vehículo diesel que cumpla la norma Euro VI no debería de renovarse por un vehículo GN a día de hoy, ya que contamina más en este caso particular.

2) CO

De la tabla 42 se tiene que para el CO se consigue una mejora del 81% respecto a la norma Euro V de diesel, por lo que las emisiones son de un 19% de lo que emiten los vehículos diesel de Norma Euro V, que de la tabla 41 se puede ver que se trata de un 33%.

Con estos datos de bibliografía se realizan los mismos cálculos que para el caso de NO_x resultando:

$$\text{Valor de referencia} = 33 * 0,19 = 6,27\%$$

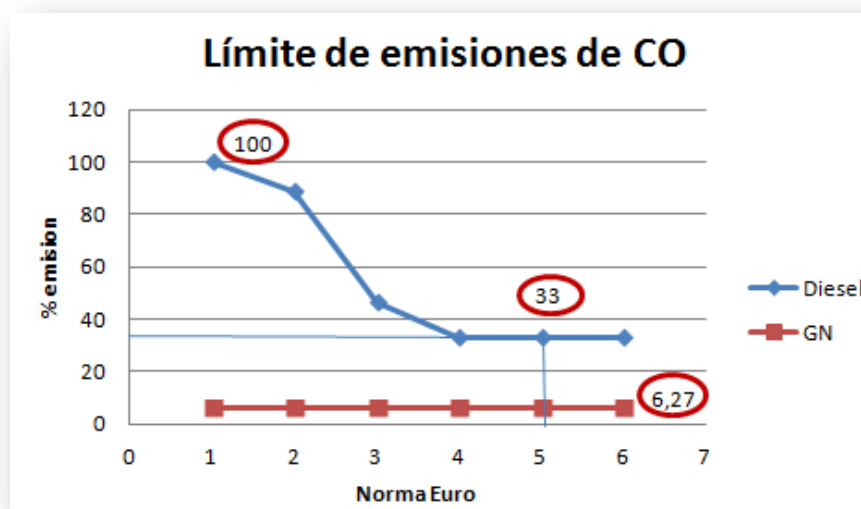


Fig 52. Límites de emisiones de CO para GN, obtención valor de referencia

Con la misma fórmula que para el cálculo del porcentaje de reducción en el caso de NO_x, se consiguen los siguientes porcentajes de reducción para el CO usando GN:

%	% reducción
Euro I	94
Euro II	93
Euro III	87
Euro IV	81
Euro V	81
Euro VI	81

Fig 53. Porcentajes de reducción para CO y GN – vehículos pesados rígidos

3) COV

Llevando a cabo los mismos pasos que para los contaminantes anteriores, se tiene que para COV hay una mejora del 95% con respecto a la norma Euro V para vehículos diesel pesados rígidos, lo cual significa que se emite un 5% de lo que emiten los vehículos de norma Euro V que es un 42% (ver tabla 31), con estos datos se tiene el valor de referencia de emisiones de COV para GN:

$$\text{Valor de referencia} = 42 * 0,05 = 2,1\%$$

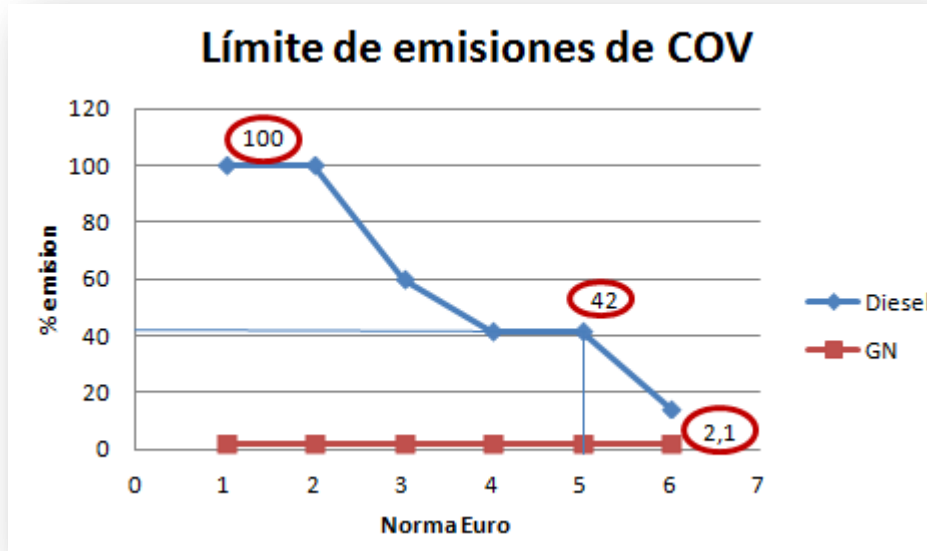


Fig 54. Límites de emisiones de COV para GN, obtención valor de referencia

Ya se pueden calcular los porcentajes de reducción de igual modo que para los casos anteriores, resultando:

%	% reducción
Euro I	98
Euro II	98
Euro III	97
Euro IV	95
Euro V	95
Euro VI	86

Fig 55. Porcentajes de reducción para COV y GN – vehículos pesados rígidos

En este punto cabe resaltar que no se está considerando las emisiones de CH₄ como dentro de COV, ya que los COV tienen un mayor efecto local y el CH₄ un mayor efecto global sobre el calentamiento global.

4) *PM*

Para el caso de PM, se tiene que hay una mejora del 100% respecto a la Euro V, por lo que se emite un 0% de estas partículas al emplear GN, por tanto no es necesario realizar cálculos para el porcentaje de reducción, ya que todas las normas Euro reducirán un 100%.

Los valores que se han calculado de porcentajes de reducción para cada contaminante corresponden sólo a vehículos pesados rígidos, para el resto de tipos de vehículos como son: vehículos de gasolina, diesel ligeros y diesel pesados articulados no se disponen de datos bibliográficos de cómo obtener sus correspondientes porcentajes de reducción.

En la metodología desarrollada en el Presente Proyecto Fin de Carrera se consideran ciertas condiciones de operación de una determinada flota de vehículos (velocidad media, distancia recorrida y tipo de conducción), y a partir de la herramienta EXCEL diseñada se obtienen en el Inventario Energético y Medioambiental los valores de emisiones de CO₂, CO, NO_x, COV y PM para dichas condiciones de la flota consideradas en cada tipo de vehículo y para cada norma.

Las mismas condiciones de la flota se introducen en los vehículos diesel pesados rígidos, para los cuales ya se han calculado los porcentajes de reducción y los valores de referencia para cada contaminante. En una hoja en EXCEL, se introducen los datos obtenidos del Inventario Energético y Medioambiental para cada tipo de vehículo y contaminantes y se hace una media para las emisiones de cada contaminante obtenidas, esta media se compara con la obtenida para vehículos diesel pesados rígidos y por diferencia se pueden sacar los porcentajes de reducción del resto de tipo de vehículos. A continuación se explica cómo se han ido realizando estos pasos para poder obtener un método de estimación de reducción de emisiones para estos vehículos que no se tienen datos en bibliografía.

Las condiciones supuestas se muestran en la siguiente tabla:

CONDICION	VELOCIDAD MEDIA	DISTANCIA RECORRIDA	% URBANO	%RURAL	%CARRETERA
1	70	1000	40	30	30
2	70	500	30	40	30
3	80	1000	40	30	30
4	80	500	30	40	30
5	60	1000	40	30	30
6	60	500	30	40	30
7	70	2000	60	30	10
8	80	2000	60	30	10
9	60	2000	60	30	10
10	50	2000	60	30	10

Fig 56. Condiciones de caracterización de flota supuestos para la obtención de % de reducción para GN y Autogás

Para cada norma Euro de cada tipo de vehículo se van introduciendo las condiciones anteriores, obteniéndose las emisiones de cada contaminante, una vez

introducidas las 10 condiciones que se han supuesto, se realiza una media, que será el valor que se tome para realizar las comparaciones con los vehículos diesel pesados rígidos. Para cada tipo de vehículo y norma se obtienen tablas con las emisiones similares a la siguiente figura:

3,5-7.5 tn					
EURO I					
CONDICIONES	CO2	NOx	CO	COV	PM
1	329,2372936	3,513323575	0,599119366	0,169115276	0,11189367
2	164,6186468	1,756661788	0,299559683	0,084557638	0,055946835
3	358,3347962	3,68800096	0,606450383	0,15842124	0,109822741
4	179,1673981	1,84400048	0,303225191	0,07921062	0,05491137
5	317,249184	3,371148517	0,61283588	0,185772987	0,117246909
6	158,624592	1,685574259	0,30641794	0,092886493	0,058623454
7	658,4745873	7,02664715	1,198238732	0,338230552	0,22378734
8	716,6695923	7,37600192	1,212900766	0,316842481	0,219645481
9	634,498368	6,742297034	1,22567176	0,371545974	0,234493817
10	637,9574629	6,578007574	1,301350608	0,423540182	0,253760646
MEDIA	415,4831921	4,358166326	0,766577031	0,222012344	0,144013226

Fig 57. Resultado de emisiones para cada condición y media – vehículos diesel pesados rígidos de 3,5 – 7,5 Tn

Una vez que se ha caracterizado la flota para cada una de las 10 condiciones, se han obtenido las emisiones contaminantes y se ha realizado una media para cada contaminante dentro de cada tipo de vehículo se realizan unas tablas resumen con las emisiones medias que se muestran a continuación para cada tipo de vehículos:

Norma	NOx	CO	COV	PM
I	4,35816633	0,76657703	0,22201234	0,14401323
II	4,4240307	0,63642231	0,13863237	0,07526111
III	3,27761289	0,61876992	0,12067616	0,05818281
IV	2,11420014	0,04899824	0,00573536	0,01018058
V	1,22559789	0,0491111	0,00580484	0,01025027

Fig 58. Emisiones medias vehículos diesel pesados rígidos (3,5-7 Tn)

Se han calculado los valores de referencia de emisiones de GN de cada contaminante en porcentaje, es necesario relacionar este porcentaje con el valor en kg reales emitidos. Para ello, se consideran los porcentajes de reducción de los vehículos diesel pesados rígidos y las emisiones medias obtenidas para este tipo de vehículos al caracterizar la flota con las condiciones supuestas. Con estos datos, realizando los

cálculos oportunos, se pueden obtener los valores reales de emisiones de GN en kg para cada contaminante, para lo cual hay que fijarse en la figura 15, para ver la forma de la curva correspondiente a cada contaminante y poder sacar una conclusión mejor de cómo obtener los valores de emisión del GN, esto se explica a continuación.

1) NO_x

Como se puede ver en la gráfica 15, la curva de emisión de NO_x para el GN se asemeja a una línea recta, por lo que se puede interpolar entre los valores de porcentajes de emisión de diesel pesados rígidos y sus correspondientes valores reales de emisión en kg obtenidos al realizar la media en el Inventario Medioambiental para obtener el valor de emisión de NO_x en kg del GN.

EURO	%	EMISIONES
I	100	4,35816633
II	88	4,4240307
III	63	3,27761289
IV	44	2,11420014
V	25	1,22559789
GN	13,75	0,75571262

Fig 59. Obtención de emisiones de NO_x para GN (3,5-7 Tn)

DIESEL (14-20tn)		
EURO	%	EMISIONES
I	100	8,18278161
II	88	8,51565673
III	63	6,64445231
IV	44	4,12578416
V	25	2,42637312
GN	13,75	1,56291185

Fig 60. Obtención de emisiones de NO_x para GN (14-20 Tn)

Como ejemplo de cálculo se va a indicar la forma de haber hallado las emisiones de NO_x al utilizar GN para vehículos diesel pesados rígidos de 3,5-7 Tn:

$$Emisión\ NO_x = \left(\frac{Emisiones\ Euro\ I(kg) - Emisiones\ Euro\ V(kg)}{Emisiones\ Euro\ I(\%) - Emisiones\ Euro\ V(\%)} \right) * (Emisiones\ Euro\ I(\%) - Emisiones\ GN(\%) - Emisiones\ Euro\ I(kg) = 4,358 - 1,225100 - 25 * 100 - 13,75 - 4,358 = 0,7557kg$$

Se diferencian entre vehículos diesel pesados rígidos de 3,5-7 Tn y 14-20 Tn pues a la hora de comparar el resto de tipos de vehículos, se hará que los vehículos de gasolina y diesel ligeros se comparen con los vehículos diesel pesados rígidos de 3,5-7 Tn y los diesel pesados articulados se comparan con los diesel pesados rígidos de 14-20 Tn, en ambas ocasiones se ha caracterizado la flota con las mismas 10 condiciones.

2) CO

Para obtener las emisiones de CO en kg del GN se realiza el mismo proceso que para el caso del NO_x, con la diferencia que al observar la figura 15, la curva de CO no es lineal, por lo que en la presente metodología se ha tenido en cuenta que como para los últimos puntos, es decir para las normas Euro IV y V se tiene el mismo valor (emisiones de un 33%), es decir, tiende a una asíntota, y las emisiones en kg medias obtenidas mediante la herramienta EXCEL de Inventario Medioambiental son prácticamente las mismas (diferencia despreciable) se realiza una regla de 3 entre el valor del último punto (Euro V) y el valor de referencia del GN.

DIESEL (3,5-7tn)		
EURO	%	EMISIONES
I	100	0,76657703
II	89	0,63642231
III	47	0,61876992
IV	33	0,04899824
V	33	0,04911111
GN	6,27	0

Fig 61. Obtención de emisiones de CO para GN (3,5-7 Tn)

DIESEL (14-20tn)		
EURO	%	EMISIONES
I	100	1,62094213
II	89	1,44224183
III	47	1,52699957
IV	33	0,10648459
V	33	0,10736571
GN	6,27	0,02019549

Fig 62. Obtención de emisiones de CO para GN (14-20 Tn)

Como ejemplo de cálculo se va a indicar el modo de haber calculado las emisiones de CO al emplear GN para vehículos diesel pesados rígidos de 14-20 Tn:

$$Emisión\ CO = \frac{Emisión\ GN(\%) * Emisión\ Euro\ V(kg)}{Emisión\ Euro\ V(\%)} = \frac{6,27 * 0,1073}{33} = 0,0202kg$$

3) COV

Para el caso de COV sucede igual que para el CO, es decir, la curva (ver figura 15) no se asemeja a una línea recta, pero se puede observar que los puntos correspondientes a las normas Euro IV y V son prácticamente iguales, por lo que se ha hecho una media entre los valores de los puntos de Euro IV y V, y con esta media se ha realizado una regla de 3 para obtener las emisiones de COV en kg al emplear GN.

DIESEL (3,5-7tn)		
EURO	%	EMISIONES
I	100	0,22201234
II	100	0,13863237
III	60	0,12067616
IV	42	0,00573536
V	42	0,00580484
GN	2,1	0,00028976

Fig 63. Obtención de emisiones de COV para GN (3,5-7 Tn)

DIESEL (14-20tn)		
EURO	%	EMISIONES
I	100	0,53035035
II	100	0,33416431
III	60	0,2949721
IV	42	0,01457466
V	42	0,01485738
GN	2,1	0,000739

Fig 64. Obtención de emisiones de COV para GN (14-20 Tn)

Ejemplo de cálculo para vehículos de 14-20 Tn:

$$Emisión\ COV = \frac{Emisión\ GN(\%) * \frac{(Emisión\ Euro\ V(kg) + Emisión\ Euro\ IV(kg))}{2}}{Emisión\ Euro\ V(\%)} = \frac{2,1 * \left(\frac{0,01457 + 0,01485}{2}\right)}{42} = 0,000739kg$$

4) *PM*

Para el caso de *PM* no es necesario realizar las mismas operaciones, pues se sabe a priori que el GN no emite dichas partículas, ya que este tipo de combustible fósil presenta un porcentaje de partículas casi nulo.

Una vez que se han calculado los valores de emisiones de cada contaminante para el GN para vehículos diesel pesados rígidos, hay que obtener para el resto de tipos de vehículos unas gráficas comparando las emisiones de GN y los contaminantes, es decir, obtener gráficas similares a la gráfica 15 que corresponde a vehículos diesel pesados rígidos pero para los demás tipos de vehículos. Para ello, se realizan unas tablas donde se disponen de dos columnas para el GN con emisiones en kg y en %. El primero de ellos es constante para todas las normas y es el valor calculado en las tablas anteriores, es decir, valores en amarillo de las figuras 59-64. En estas mismas tablas habrá otras dos columnas para cada contaminante, una con las emisiones en kg para cada norma, que será el valor medio obtenido al caracterizar la flota de vehículos con las 10 condiciones supuestas y una última columna con el % de estas emisiones, para lo cual, al valor correspondiente a la norma Euro I se le asigna el 100%, y el porcentaje del resto de normas se obtiene realizando una regla de 3 al conocer las emisiones en kg, y el valor correspondiente al 100%, se realizaría con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ emisión contaminante} = \frac{\text{Emisión contaminante (kg)} * 100(\%)}{\text{Emisión contaminante Euro I(kg)}}$$

Con todos estos cálculos quedarían todas las columnas rellenas excepto la correspondiente al % de emisiones de GN, que ya se puede calcular realizando una regla de 3 para cada fila (para cada norma) de la siguiente forma:

$$\% \text{ emisión GN} = \frac{\text{Emisión GN(kg)} * \text{Emisión contaminante} (\%)}{\text{Emisión contaminante (kg)}}$$

Al realizar los cálculos descritos, se obtienen para cada tipo de vehículos tablas similares a la siguiente con sus correspondientes gráficas, comparando emisiones de GN con los contaminantes para cada tipo de vehículo:

	GN		NO _x	
	EMISIONES	%	EMISIONES	%
1	0,75571262	60,3577818	1,252055	100
2	0,75571262	60,3577818	1,252055	100
3	0,75571262	60,3577818	1,0517262	84
4	0,75571262	60,3577818	0,8513974	68
5	0,75571262	60,3577818	0,61350695	49

Fig 65. Emisiones de GN y NO_x – vehículos diesel ligeros

En la siguiente gráfica se muestra la evolución de los límites de emisiones de NO_x para vehículos diesel ligeros y GN, así al comparar dichas emisiones se puede observar que los vehículos que se rigen por la norma Euro I, II, III y IV emiten más

NO_x que si se emplea GN en dichos vehículos, sin embargo los vehículos Euro V emiten menos que los de GN.

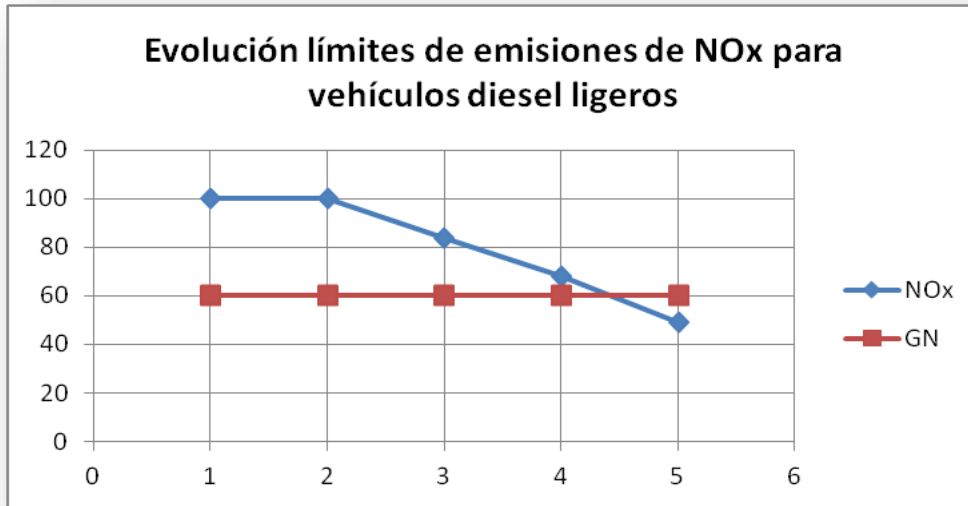


Fig 66. Evolución límites de emisión de NO_x comparando vehículos diesel ligeros con GN

Estas tablas se obtienen para cada tipo de vehículos, cada norma y cada contaminante considerado en la presente metodología.

Por último, ya se pueden calcular los porcentajes de reducción que es lo que se estaba persiguiendo, para cada tipo de vehículos y poder introducirlos en las fórmulas correspondientes de ahorro medioambiental en la herramienta EXCEL para la medida de mejora de GN.

Para cada tipo de vehículo se realiza una tabla en la que se muestra cada norma y los contaminantes, en cada celda de la herramienta se calcula el porcentaje de reducción con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ reducción} = \left(100 - \frac{\% \text{emisión GN}}{\% \text{emisión contaminante}} * 100 \right)$$

Donde:

% emisión GN: se obtiene de la figura 65 para el caso de diesel ligeros, y de figuras similares para el resto de tipo de vehículos.

% emisión contaminante: se obtiene de las mismas figuras que el % de emisión de GN, será del contaminante en cuestión.

A continuación, se muestran las tablas que resultan para cada tipo de vehículos y sus correspondientes % de reducción a introducir en las fórmulas de ahorro medioambiental.

GN	NOx	CO	COV	PM
1	-47	99	100	100
2	-334	99	99	100
3	-602	99	99	100
4	-1375	98	97	100
5	-1866	98	97	100
6	-	-	-	-
TODAS	-47	99	100	100

Fig 67. Porcentajes de reducción vehículos de gasolina

GN	NOx	CO	COV	PM
1	40	98	100	100
2	40	98	100	100
3	28	97	100	100
4	11	97	99	100
5	-23	97	88	100

Fig 68. Porcentajes de reducción vehículos diesel ligeros

GN	NOx	CO	COV	PM
1	80	99	100	100
2	81	99	100	100
3	76	99	100	100
4	61	80	94	100
5	33	80	95	100

Fig 69. Porcentajes de reducción vehículos diesel pesados articulados

Para los vehículos diesel pesados rígidos, aunque ya se conocían los porcentajes de reducción, también se han calculado de la misma manera que para el resto de tipos de vehículos para ver el error cometido al calcularlo a partir de datos bibliográficos y con la metodología descrita, es decir, para obtener una **validación de la metodología descrita de parametrización** para el cálculo de los porcentajes de reducción. El error cometido con la herramienta se muestra en la siguiente figura:

GN	NOx	CO	COV	PM
1	-4	5	2	0
2	-2	6	2	0
3	-1	12	3	0
4	-7	0	0	0
5	-17	0	0	0

Fig 70. Porcentaje de error cometido para vehículos diesel pesados rígidos

Como se puede observar el porcentaje de error cometido es pequeño, por lo que se da por válida la metodología de cálculo llevada a cabo.

- **Autogás:** en el caso de utilizar como combustible alternativo autogás, la metodología seguida para la obtención de los porcentajes de reducción de cada contaminante y para cada tipo y norma de vehículo es la misma que se ha explicado para el GN. En este caso, se parte de los siguientes datos de bibliografía:

- *NO_x*: mejora del 96% respecto a la norma Euro I.
- *CO*: mejora del 50% respecto a la norma Euro V.
- *COV*: mejora del 30% respecto al Gas Natural.
- *PM*: mejora del 100%.

Conociendo estos datos de partida, se pueden realizar los cálculos para la obtención de los porcentajes de reducción, en este caso, excepto para el CO y PM, los datos de partida son diferentes a los que se tienen en el caso de GN.

Estos datos bibliográficos están considerados también para vehículos pesados rígidos con carga del 100%.

1) *NO_x*

En este caso, al conocer la mejora respecto a la norma Euro I, se obtiene directamente el % de emisión de este componente para el autogás con la siguiente fórmula:

$$\text{valor de referencia} = \%emisión \text{ Euro I} * \left(\frac{\%emisión \text{ Euro I} - \%mejora \text{ respecto Euro I}}{\%emisión \text{ Euro I}} \right) = 100 * \left(\frac{100 - 96}{100} \right) = 4\%$$

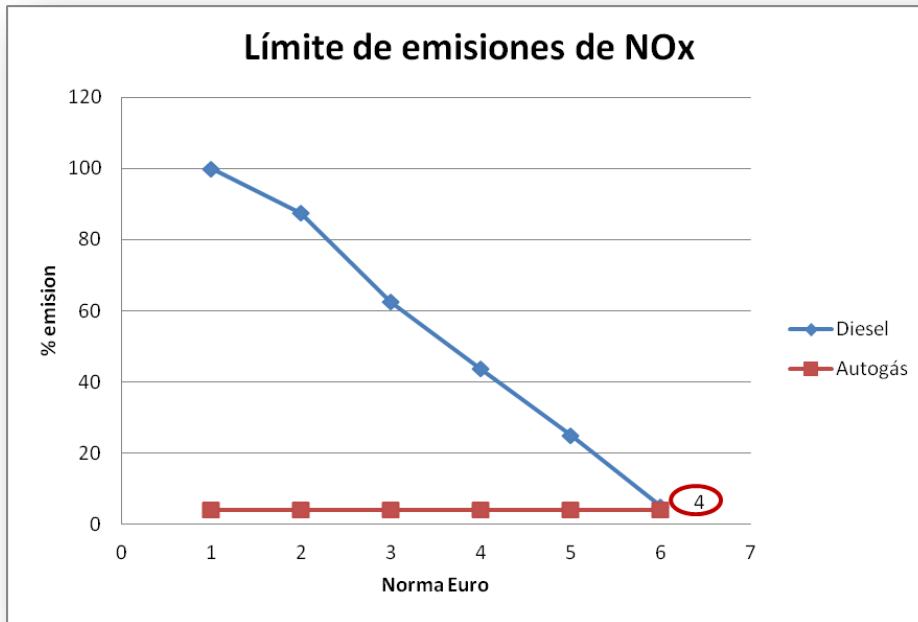


Fig 71. Límites de emisiones de NO_x para autogás, obtención valor de referencia

Una vez que se tiene el valor de emisión de autogás (4 %), se puede obtener el valor de porcentaje de reducción para el resto de normas, con la siguiente fórmula:

$$\%reducción = \left[100 - \left(\frac{4}{\%emisión\ gráfica} * 100 \right) \right]$$

Donde el % de emisión de la gráfica es el valor tomado en la tabla 31.

Haciendo estos cálculos se obtienen los siguientes resultados:

%	% reducción
Euro I	96
Euro II	95
Euro III	94
Euro IV	91
Euro V	84
Euro VI	20

Fig 72. Porcentajes de reducción para NO_x y Autogás – vehículos diesel pesados rígidos

2) CO

En este caso, al conocerse la mejora respecto la norma Euro V, el procedimiento de cálculo es igual que para el caso que se emplea Gas Natural, por lo que resulta:

$$Valor\ de\ referencia = 33 * 0,5 = 16,5\%$$

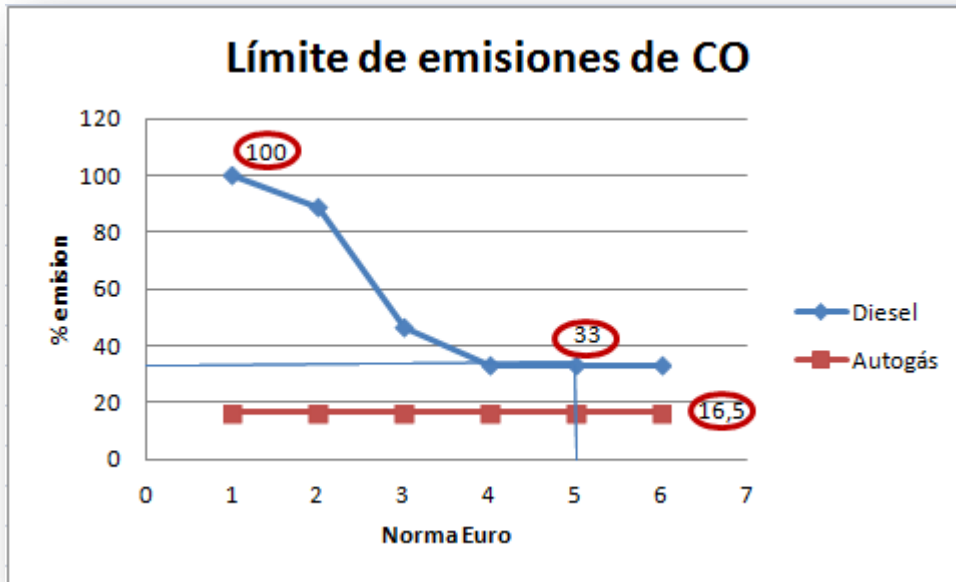


Fig 73. Límites de emisiones de CO para autogás, obtención valor de referencia

Con la fórmula para el cálculo del porcentaje de reducción se consiguen los siguientes porcentajes de reducción para el CO usando Autogás:

%	% reducción
Euro I	84
Euro II	81
Euro III	65
Euro IV	51
Euro V	51
Euro VI	51

Fig 74. Porcentajes de reducción para CO y Autogás – vehículos pesados rígidos

3) COV

En este caso, la mejora que se conoce es respecto a las emisiones de Gas Natural, por lo que el valor de referencia para el autogás, es decir, el % de emisión de COV para autogás se calcula haciendo una regla de 3, pues el valor de las emisiones de COV es fijo para el GN:

$$\text{valor de referencia} = \frac{\% \text{valor referencia GN} \cdot (100 - \% \text{mejora respecto GN})}{100} = \frac{2,1 \cdot (100 - 30)}{100} = 1,47\%$$

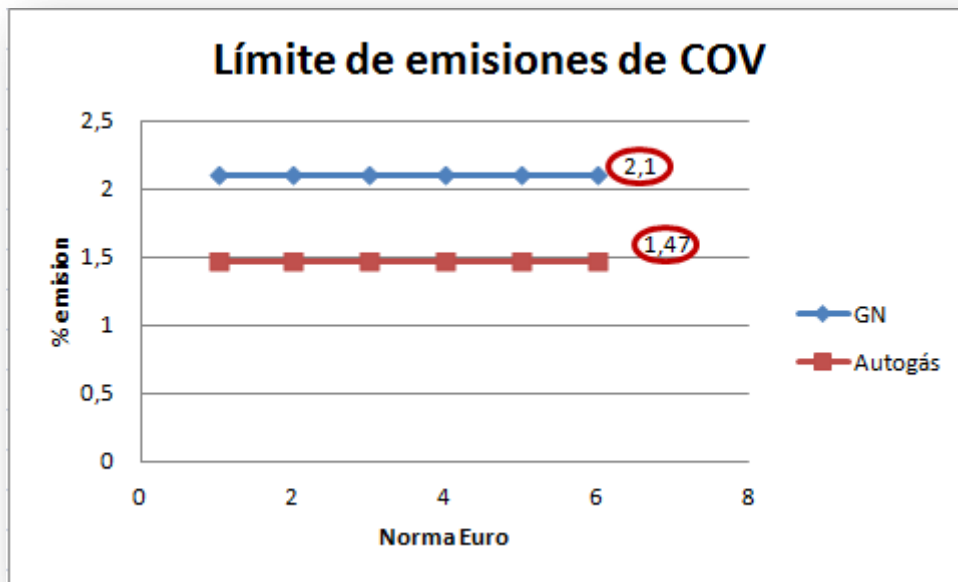


Fig 75. Límites de emisiones de COV para autogás, obtención valor de referencia

Ya se pueden calcular los porcentajes de reducción de igual modo que para los casos anteriores, resultando:

%	% reducción
Euro I	99
Euro II	99
Euro III	98
Euro IV	96
Euro V	96
Euro VI	90

Fig 76. Porcentajes de reducción para COV y Autogás – vehículos pesados rígidos

4) PM

Para el caso de PM, se tiene que hay una mejora del 100% por lo que no es necesario realizar cálculos para hallar porcentajes de reducción, ya que todas las normas Euro reducirán un 100%, y este combustible alternativo no emite PM.

Al igual que para el empleo de Gas Natural, estos porcentajes de reducción corresponden a vehículos diesel pesados rígidos, por lo que se sigue la misma metodología de parametrización que para el caso de Gas Natural para obtener los porcentajes de reducción para el resto de tipo de vehículos.

Se han tomado las mismas condiciones que para el Gas Natural (figura 56). Llevando a cabo la metodología con los mismos pasos se llega a los siguientes resultados de porcentajes de reducción para cada tipo de vehículos:

AUTOGÁS	NOx	CO	COV	PM
1	32	98	100	100
2	-100	97	99	100
3	-224	97	99	100
4	-580	94	98	100
5	-807	94	98	100
6	-	-	-	-
TODAS	32	98	100	100

Fig 77. Porcentajes de reducción vehículos de gasolina

AUTOGÁS	NOx	CO	COV	PM
1	72	95	100	100
2	72	95	100	100
3	67	93	100	100
4	59	92	100	100
5	43	92	91	100

Fig 78. Porcentajes de reducción vehículos diesel ligeros

AUTOGÁS	NOx	CO	COV	PM
1	90	97	100	100
2	90	96	100	100
3	87	96	100	100
4	80	47	96	100
5	65	47	96	100

Fig 79. Porcentajes de reducción vehículos diesel pesados articulados

Validación de la metodología descrita de parametrización:

AUTOGÁS	NOx	CO	COV	PM
1	-4	14	1	0
2	-4	15	1	0
3	-5	33	2	0
4	-9	0	0	0
5	-17	0	0	0

Fig 80. Porcentaje de error cometido para vehículos diesel pesados rígidos

Como se puede observar el porcentaje de error cometido es pequeño, por lo que se da por válida la metodología de cálculo llevada a cabo.

A continuación se muestra una tabla donde se resumen todos los porcentajes de reducción obtenidos y que hay que introducir en las fórmulas de cálculo del Inventario Medioambiental para el impacto de las medidas de mejora que emplean GN o Autogás como combustible alternativo.

GAS NATURAL		NOx	CO	COV	PM
GASOLINA	1	-47	99	100	100
	2	-334	99	99	100
	3	-602	99	99	100
	4	-1375	98	97	100
	5	-1866	98	97	100
	6	-	-	-	-
	TODAS	-47	99	100	100
DIESEL LIGEROS	1	40	98	100	100
	2	40	98	100	100
	3	28	97	100	100
	4	11	97	99	100
	5	-23	97	88	100
DIESEL PESADOS RIGIDOS	I	86	94	98	100
	II	84	93	98	100
	III	78	87	97	100
	IV	69	81	95	100
	V	45	81	95	100
DIESEL PESADOS ARTICULADOS	I	80	99	100	100
	II	81	99	100	100
	III	76	99	100	100
	IV	61	80	94	100
	V	33	80	95	100

Fig 81. Porcentajes de reducción para el GN

AUTOGÁS		NOx	CO	COV	PM
GASOLINA	1	32	98	100	100
	2	-100	97	99	100
	3	-224	97	99	100
	4	-580	94	98	100
	5	-807	94	98	100
	6	-	-	-	-
	TODAS	32	98	100	100
DIESEL LIGEROS	1	72	95	100	100
	2	72	95	100	100
	3	67	93	100	100
	4	59	92	100	100
	5	43	92	91	100
DIESEL PESADOS RIGIDOS	I	96	84	99	100
	II	95	81	99	100
	III	94	65	98	100
	IV	91	51	96	100
	V	84	51	96	100
DIESEL PESADOS ARTICULADOS	I	90	97	100	100
	II	90	96	100	100
	III	87	96	100	100
	IV	80	47	96	100
	V	65	47	96	100

Fig 82. Porcentajes de reducción para el Autogás

Estos porcentajes se introducen en la fórmula del cálculo del ahorro medioambiental en la herramienta EXCEL diseñada y ya se puede obtener el impacto medioambiental que supone aplicar cada una de las medidas de mejora.

Como en el ahorro de consumo energético, en el ahorro de emisiones contaminantes también se pueden dar los mismos tres casos:

1. **Ahorro = 0:** no se ahorra, se obtienen las mismas emisiones contaminantes que sin aplicar la medida de mejora considerada que aplicándola.
2. **Ahorro < 0:** no se ahorra, por lo que no es conveniente aplicar la medida de mejora para la que resulta un ahorro menor que cero.
3. **Ahorro > 0:** se ahorra al aplicar la medida de mejora, por lo que es conveniente utilizarla.

IMPACTO ENERGÉTICO Y MEDIOAMBIENTAL

Al aplicar los Modelos de Consumo Energético y Medioambiental al seleccionar las medidas de mejora y hacer las modificaciones oportunas, con la herramienta utilizada en el presente Proyecto Fin de Carrera, se obtiene el Impacto obtenido con las alteraciones, es decir, el ahorro Energético y Medioambiental que se consigue al realizar las medidas de mejora seleccionadas en la Flota de Transporte que se esté caracterizando, como se ha explicado en los ejemplos de los sub-puntos anteriores.

Una vez que se tiene el impacto que supone cada una de las medidas de mejora, se seleccionan las medidas de mejora que conviene aplicarse y se pasa a rellenar en la misma herramienta EXCEL las fichas de descripción de medidas que se muestran a continuación, que se han diseñado para facilitar la caracterización y el seguimiento en la implantación para los gestores de flota.

Diseño de una Metodología para la Estimación de Consumo Energético y Emisiones Contaminantes en Flotas de Transporte por Carretera

Nº	"Codificación"	MEDIDA DE MEJORA	
ÁMBITO	"Ámbito en el que se clasifica la medida"	"Denominación de la medida de mejora"	

DESCRIPCIÓN			
"Breve descripción de la medida de mejora, incluyendo objetivos a cumplir"			
Factores de influencia	Agentes implicados		
"Indicar los principales factores influyentes en la puesta en marcha de la medida"	"Enumerar los agentes implicados, incluyendo el principal responsable de la medida de mejora"		
Criterios de éxitos	Barreras a solventar		
"Indicar los criterios de éxito en la puesta en marcha de la medida"	"Indicar las posibles barreras en la puesta en marcha de la medida"		
Recursos			
"Indicar los recursos necesarios para la ejecución y el mantenimiento, en su caso, de implantar la medida de mejora"			

CRONOGRAMA	
"Etapas necesarias para la implantación óptima de la medida de mejora"	
Plazos de Implantación	
"Indicar plazos de implantación: corto, medio, largo"	

VIABILIDAD	
Técnica	
"Análisis de viabilidad técnica y aspectos operativos"	
Económica	
"Análisis de viabilidad económica: costes e ingresos"	

INVENTARIO	
Balance Energético	
"Indicar las expectativas de ahorro energético (MWh/año, L cble) respecto a la situación inicial"	
Balance Medioambiental	
"Indicar las expectativas de reducción de emisiones contaminantes (GEI y otros contaminantes) respecto a la situación inicial"	

SEGUIMIENTO			
"Relación de indicadores para realizar el seguimiento de la implantación de la medida de mejora"			
Indicador	Formulación	Unidad	Tendencia

Fig 83. Ficha de descripción de medidas

4.3. Sistema de Seguimiento de Actuaciones



Fig 84. Metodología para el Sistema de Seguimiento de Medidas de Mejora

En términos generales, un **indicador** no es más que una “variable que ofrece información más allá del dato mismo, permitiendo un conocimiento más comprehensivo de la realidad a analizar”

En definitiva, el indicador es una medida de la parte observable de un fenómeno que permite valorar otra porción no observable de dicho fenómeno. Se convierte pues, en una variable que “indica” determinada información sobre una realidad que no se conoce de forma completa o directa.

Por otra parte, un indicador puede ser la forma más simple de reducción de una gran cantidad de datos, manteniendo la información esencial para las cuestiones planteadas a los datos. El indicador ha de permitir una lectura concisa, comprensible y científicamente válida del fenómeno a estudiar.

Por regla general, los indicadores son porcentajes, ratios o magnitudes del aspecto que se quiere evaluar y seguir.

De entre las características propias a destacar de un indicador son las siguientes:

- **Definición:** cada indicador debe estar definido de manera inequívoca, sin dar lugar a confusión ni ambigüedades.
- **Finalidad:** deben estar relacionados con unos objetivos claros y específicos, proporcionando información útil para el seguimiento.
- **Obtención:** la fuente de datos para el cálculo de los indicadores debe ser accesibles.
- **Periodicidad:** cada indicador debe tener asociada una frecuencia de evaluación, con margen suficiente para analizar una nueva situación.

- **Formulación:** relación matemática cuyo resultado es el valor del indicador. Se recomienda que debe ser lo menos compleja posible pero sin perder cierto grado de detalle.

Además de las características anteriores, hay una serie de criterios que deben tenerse en cuenta a la hora de definir los indicadores, que son los siguientes:

- **Significativos:** deben representar la realidad de la situación que pretenden medir.
- **Relevantes:** deben proveer información de relevancia para poder determinar objetivos y metas.
- **Sensibles a los cambios:** deben señalar los cambios de tendencia preferiblemente a corto y medio plazo, permitiendo evaluar la situación de una manera rápida, sencilla y continua.
- **Efectivos:** deben tener una adecuada relación entre el valor del indicador y la interpretación de sus variaciones.
- **Fiables:** los datos deben de ser lo más fiables posibles, de buena calidad y con las fuentes utilizadas para su cálculo estadístico fiable
- **Válidos:** deben ser científicamente solventes, verificables y reproducibles
- **Accesibles:** deben ser sencillos de obtener, evitando aquellos cuya interpretación requiera infinidad de cálculos
- **Representativos:** la información que posee el indicador debe de ser representativa
- **Comprensible:** El indicador ha de ser simple, claro y de fácil comprensión

Por tanto, un sistema de indicadores es un conjunto de indicadores que ofrecen un instrumento analítico para analizar y evaluar los elementos que componen un sistema, de forma comprensiva, así como realizar el seguimiento de las variables en base al grado de consecución de objetivos.

4.3.1. Puesta en Marcha de Medidas de Mejora

En este paso se considera que la empresa de la flota de transporte lleva a cabo una o varias implantaciones de mejora que previamente se han evaluado con la metodología desarrollada, de manera que se tendrá un conocimiento previo del previsible impacto energético y medioambiental, que una vez implantada habrá que corroborar si se están cumpliendo los objetivos. Para ello se presenta a continuación un sistema de seguimiento basado en indicadores que permite no solo evaluar la parte energética y medioambiental, sino también toda la parte operativa y de gestión de costes.

4.3.2. Sistema de Seguimiento basado en Indicadores

En este apartado se presenta una propuesta para la evaluación y seguimiento de la implantación de la metodología desarrollada en el presente Proyecto Fin de Carrera en flotas de transporte, en base a la definición de indicadores clave de rendimiento que de forma integrada, equilibrada y escalable permitirán medir el progreso de la implantación de las medidas propuestas y suministrar las acciones futuras para la consecución de sus objetivos estratégicos del mismo. A su vez, el conjunto de indicadores sirve para cuantificar el grado de sostenibilidad de las actuaciones propuestas, permitiendo un proceso de retroalimentación y de mejora continua.

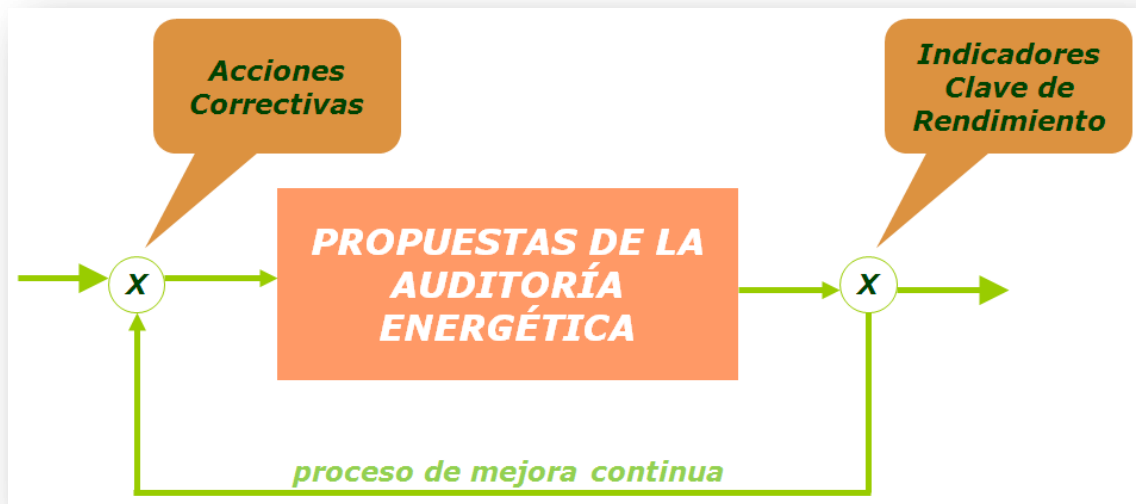


Fig 85. Sistema de Seguimiento y Evaluación basado en Indicadores

Por tanto, un sistema de indicadores es un conjunto de indicadores que ofrecen un instrumento analítico para analizar y evaluar los elementos que componen una flota de transporte, de forma comprensiva, así como realizar el seguimiento de las variables en base al grado de consecución de objetivos.

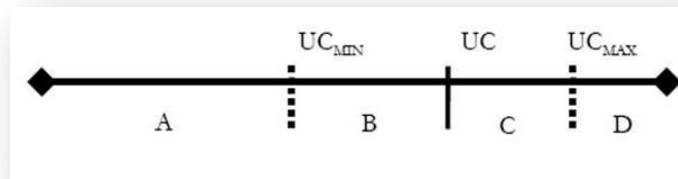
Respecto a los valores de referencia asociados a cada indicador, se diferencian los siguientes tipos:

- **Estándar:** se refieren al valor origen de cada indicador, considerándose como un valor de referencia.
- **Meta:** aluden explícitamente a la intención u objetivo, representando un valor o intervalo, que se espera alcanzar en un plazo de tiempo.
- **Umbral:** representan márgenes, pasados los cuales algo es cierto o toma lugar.

Como sistema de organización de la información para el análisis se empleará el llamado “**modelo bandera**”, el cual permite relacionar la toma de decisiones en el seguimiento con el uso de valores umbrales críticos de cada uno de los indicadores considerados.

Estos valores umbrales críticos se definen a partir de los valores estándar de los indicadores considerados al inicio del seguimiento.

Se especifican tres valores de umbrales críticos, superados los cuales se asocia un determinado tipo de bandera:



- **Bandera Verde (Área A):** No hay razón para preocuparse.
- **Bandera Amarilla (Área B):** Nivel de alerta.
- **Bandera Roja (Área C):** Necesario invertir la tendencia.
- **Bandera Negra (Área D):** Detener inmediatamente siguientes desarrollos.

Los **indicadores clave del rendimiento** para la gestión de una flota se agrupan según las siguientes funciones:

a) Indicadores de las operaciones

- Velocidad media de la flota.
- Velocidad media por conductor.
- Velocidad media de la flota.
- Distancia mensual recorrida por la flota.
- Distancia mensual recorrida por conductor.
- Distancia mensual recorrida por vehículo.
- Distancia mensual recorrida en vacío por la flota.
- Distancia mensual recorrida en vacío por vehículo.
- Porcentaje de la distancia recorrida en vacío.
- Distancia mensual recorrida en carga por la flota.
- Distancia mensual recorrida en carga por vehículo.
- Porcentaje de la distancia recorrida en carga.
- Porcentaje del tiempo de los vehículos en operación.
- Media del Porcentaje del tiempo de los vehículos en operación para la flota.
- Unidades medias transportadas por viaje.
- Unidades medias transportadas por vehículo y viaje.

- Unidades medias transportadas respecto a capacidad máxima de cada vehículo.
- Frecuencia media de los viajes.
- Porcentaje de conducción urbana de la flota.
- Porcentaje de conducción urbana por vehículo.

b) Indicadores del dimensionado de la flota

- N° medio de horas de viaje de la flota.
- N° medio de horas de viaje mensuales por conductor.
- N° medio de horas de viaje mensuales por vehículo.
- N° medio de viajes mensuales de la flota.
- N° medio de viajes mensuales por conductor.
- N° medio de viajes mensuales por vehículo.
- Distancia media mensual recorrida por la flota.
- Distancia media mensual recorrida por conductor.
- Distancia media mensual recorrida por vehículo.
- Unidades medias transportadas por la flota.
- Edad media de la flota.

c) Indicadores de mantenimiento

- Porcentaje de defectos corregidos en menos de 72 horas.
- Porcentaje de inspecciones retrasadas o no superadas.
- Porcentaje de averías.
- Media del número de vehículos en mantenimiento.
- Media de la duración de los mantenimientos.
- Media de la duración de los mantenimientos por vehículo.
- Porcentaje de vehículos con Defectos Graves en ITV.

d) Indicadores de calidad de servicio

- Porcentaje de los servicios retrasados (entregas).
- Porcentaje de unidades transportadas defectuosas (para transporte de mercancías).
- Porcentaje de quejas respecto al total de servicios.

e) Indicadores de no conformidades

- N° de accidentes de tráfico por kilómetro recorrido.
- N° de excesos de velocidad por kilómetro recorrido.
- N° de excesos de conducción por kilómetro recorrido.
- N° de excesos de parada por kilómetro recorrido.
- N° de alarmas por exceso/ defecto de T^a por kilómetro recorrido.
- N° de alarmas por sensor de apertura de puertas.
- N° de multas por kilómetro recorrido.

f) Indicadores energéticos y medioambientales

- Consumo medio mensual de la flota.
- Consumo medio mensual por unidad transportada.
- Consumo medio mensual de cada vehículo.
- Consumo medio mensual de cada tipo de vehículo.
- Consumo medio mensual por conductor.
- Cantidad mensual de emisiones de CO₂ de la flota.
- Cantidad media de emisiones de CO₂ de la flota por kilómetro recorrido.
- Cantidad mensual de emisiones de CO₂ por vehículo.
- Cantidad media de emisiones de CO₂ por vehículo y Km recorrido.
- Cantidad mensual de emisiones de CH₄ de la flota.
- Cantidad media de emisiones de CH₄ de la flota por kilómetro recorrido.
- Cantidad mensual de emisiones de CH₄ por vehículo.
- Cantidad media de emisiones de CH₄ por vehículo y Km recorrido.
- Cantidad mensual de emisiones de NO_x de la flota.
- Cantidad media de emisiones de NO_x de la flota por kilómetro recorrido.
- Cantidad mensual de emisiones de NO_x por vehículo.
- Cantidad media de emisiones de NO_x por vehículo y Km recorrido.
- Cantidad mensual de emisiones de CO de la flota.
- Cantidad media de emisiones de CO de la flota por kilómetro recorrido.
- Cantidad mensual de emisiones de CO por vehículo.
- Cantidad media de emisiones de CO por vehículo y Km recorrido.
- Cantidad mensual de emisiones de COV de la flota.
- Cantidad media de emisiones de COV de la flota por kilómetro recorrido.

- Cantidad mensual de emisiones de COV por vehículo.
- Cantidad media de emisiones de COV por vehículo y Km recorrido.
- Cantidad mensual de emisiones de PM de la flota.
- Cantidad media de emisiones de PM de la flota por kilómetro recorrido.
- Cantidad mensual de emisiones de PM por vehículo.
- Cantidad media de emisiones de PM por vehículo y Km recorrido.
- Cantidad mensual de emisiones de Metales de la flota.
- Cantidad media de emisiones de Metales de la flota por kilómetro recorrido.
- Cantidad mensual de emisiones de Metales por vehículo.
- Cantidad media de emisiones de Metales por vehículo y Km recorrido.
- Cantidad mensual de formación de ozono debida a las emisiones de la flota.

g) Indicadores de costes

- Costes mensuales de combustible.
- Costes mensuales de gasolina.
- Costes mensuales de bioetanol.
- Costes mensuales de diesel.
- Costes mensuales de biodiesel.
- Costes mensuales de gas natural.
- Costes mensuales de autogás o GLP.
- Costes mensuales de electricidad (vehículos eléctricos).
- Costes mensuales de hidrógeno (vehículos hidrógeno).
- Costes mensuales de combustible por Km recorrido.
- Costes mensuales de gasolina por Km recorrido.
- Costes mensuales de bioetanol por Km recorrido.
- Costes mensuales de diesel por Km recorrido.
- Costes mensuales de biodiesel por Km recorrido.
- Costes mensuales de gas natural por Km recorrido.
- Costes mensuales de autogás o GLP por Km recorrido.
- Costes mensuales de electricidad (vehículos eléctricos) por Km recorrido.
- Costes mensuales de hidrógeno (vehículos hidrógeno) por Km recorrido.
- Costes mensuales de neumáticos.

- Costes mensuales de mantenimiento.
- Costes mensuales de reparaciones (averías).
- Costes mensuales directos variables de la flota.
- Costes mensuales de amortización de la flota.
- Costes mensuales de financiación de la flota.
- Costes mensuales de personal de la flota.
- Costes mensuales de seguros de la flota.
- Costes mensuales fiscales (impuestos) de la flota.
- Costes mensuales formación de conductores.
- Costes mensuales dispositivos telemáticos.
- Costes mensuales directos fijos de la flota.
- Costes mensuales de peajes.
- Costes mensuales de dietas y pluses de conductores.
- Costes mensuales indirectos.
- Costes directos por kilómetro recorrido.
- Costes directos fijos por kilómetro recorrido.
- Costes directos variables por kilómetro recorrido.
- Costes directos variables por hora trabajada.
- Costes directos por hora trabajada.

Para cada una de las anteriores funciones se definen una serie de indicadores cuyo análisis permitirá evaluar la eficiencia y el rendimiento de la flota de transporte.

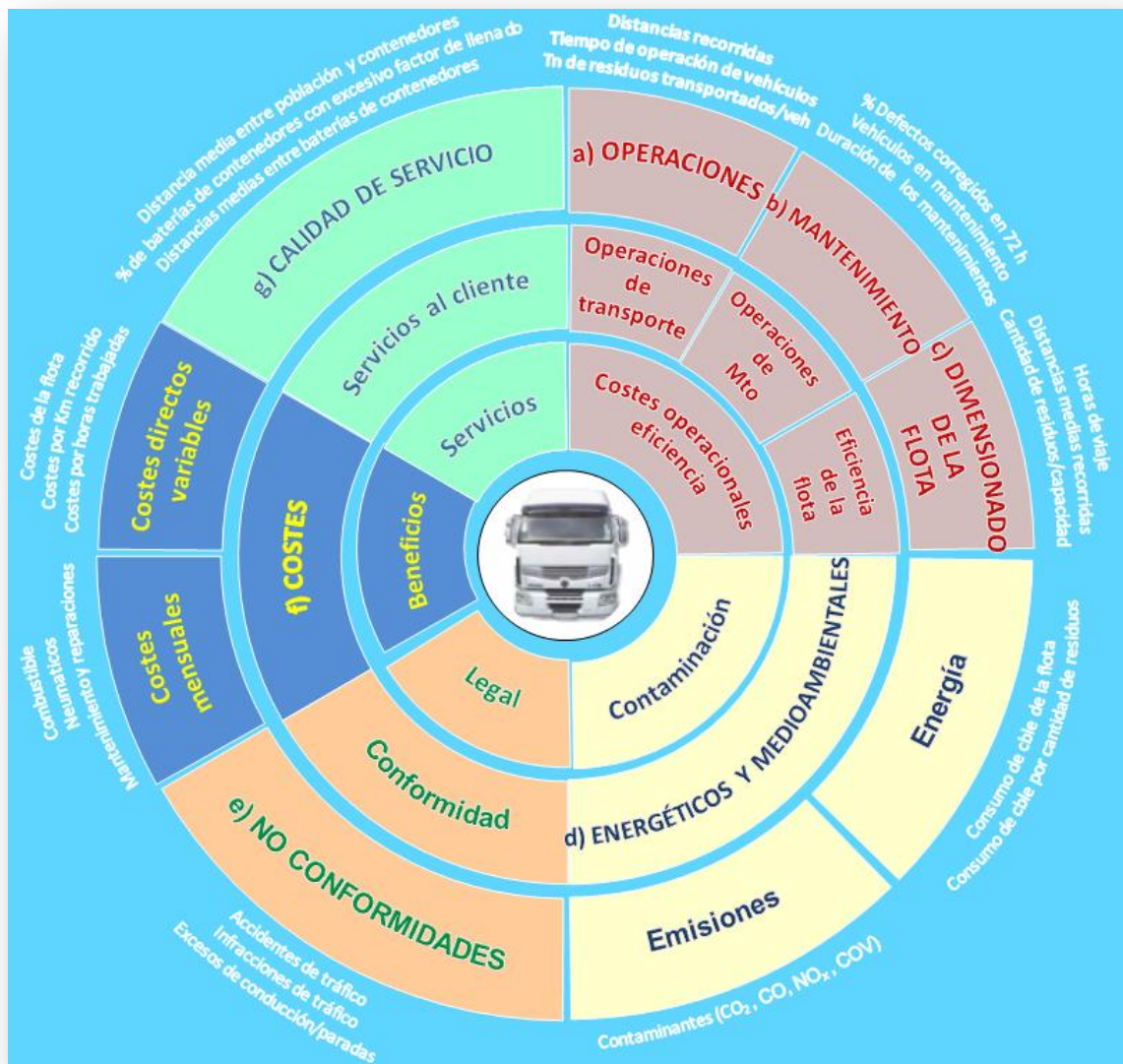


Fig 86. Indicadores Clave de Rendimiento

INDICADORES DE OPERACIONES DE TRANSPORTE

Respecto al sistema de seguimiento en base a indicadores de operaciones de transporte, se muestran en las tablas siguientes un completo sistema de indicadores, que contemplan el dimensionado de la flota, las operaciones de mantenimiento, la calidad de servicio, las operaciones de rutas y las no conformidades. Para cada indicador se muestra su código de clasificación, descripción, datos necesarios para su cálculo y la expresión de la misma, la justificación de su obtención, el rango de valores o valor óptimo en la flota y conclusiones para su mejora.

Indicadores sobre Dimensionado de la Flota

Los indicadores relacionados con el dimensionado de la flota deben ofrecer información sobre la magnitud y el ajuste entre la oferta de vehículos de la flota y la demanda de los servicios por parte de los clientes.

INDICADORES DE OPERACIONES – “DIMENSIONADO DE LA FLOTA”						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CÁLCULO	JUSTIFICACIÓN	VALORES	CONCLUSIONES
NMHV	Nº medio de horas de viaje de la flota	HDV	MEDIA(HDV)	Las horas de viaje medirán el nivel de actividad de la empresa	Los valores dependen de la actividad específica de la empresa: urbano, interurbano o internacional	A corto plazo, con una actividad estable, una reducción de las horas de viaje refleja una óptima gestión de las rutas
NMHC	Nº medio de horas de viaje mensuales por conductor	HDV-Cond	MEDIA(HDV-Cond)	Las horas de viaje medirán el nivel de actividad de la empresa por conductor	Los valores dependen de la actividad específica de la empresa: urbano, interurbano o internacional	A corto plazo, con una actividad estable, una reducción de las horas de viaje refleja una óptima gestión de las rutas
NMHT	Nº medio de horas de viaje mensuales por vehículo	HDV-Veh	MEDIA(HDV-Veh)	Las horas de viaje o trabajadas (operativas) medirán el nivel de actividad de la empresa	Los valores dependen de la actividad específica de la empresa: urbano, interurbano o internacional	A corto plazo, con una actividad estable, un aumento de las horas trabajadas refleja una óptima gestión de las rutas
NMVJF	Nº medio de viajes mensuales de la flota	VJR	MEDIA(VJR)	El número de viajes realizados mide el nivel de actividad de la empresa	Los valores dependen de la actividad específica de la empresa: urbano, interurbano o internacional	Un aumento del número de viajes mensuales refleja mayor actividad, siempre que se mantenga el nivel de carga

Tabla 43. Indicadores de Operaciones – “Dimensionado de la Flota (I)”

INDICADORES DE OPERACIONES – “DIMENSIONADO DE LA FLOTA”						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CÁLCULO	JUSTIFICACIÓN	VALORES	CONCLUSIONES
NMVJC	Nº medio de viajes mensuales por conductor	VJR-Cond	MEDIA(VJR-Cond)	El número de viajes realizados mide el nivel de actividad de la empresa por conductor	Los valores dependen de la actividad específica de la empresa: urbano, interurbano o internacional	Un aumento del número de viajes mensuales refleja mayor actividad, siempre que se mantenga el nivel de carga
NMVJV	Nº medio de viajes mensuales por vehículo	VJR-Veh	MEDIA(VJR-Veh)	El número de viajes realizados mide el nivel de actividad de la empresa	Los valores dependen de la actividad específica de la empresa: urbano, interurbano o internacional	Un aumento del número de viajes mensuales refleja mayor actividad, siempre que se mantenga el nivel de carga
KMMF	Distancia media mensual recorrida por la flota	KMT	MEDIA(KMT)	La distancia media medirá el nivel de actividad de la empresa	Los valores dependen de la actividad específica de la empresa: urbano, interurbano o internacional	A corto plazo, con una actividad estable, una reducción de los km recorridos refleja una óptima gestión de las rutas
KMMC	Distancia media mensual recorrida por conductor	KMC	MEDIA(KMC)	La distancia media medirá el nivel de actividad de la empresa por conductor	Los valores dependen de la actividad específica de la empresa: urbano, interurbano o internacional	A corto plazo, con una actividad estable, una reducción de los km recorridos refleja una óptima gestión de las rutas
KMMV	Distancia media mensual recorrida por vehículo	KMV	MEDIA(KMV)	La distancia media medirá el nivel de actividad de la empresa por vehículo	Los valores dependen de la actividad específica de la empresa: urbano, interurbano o internacional	A corto plazo, con una actividad estable, una reducción de los km recorridos refleja una óptima gestión de las rutas

Tabla 44. Indicadores de Operaciones – “Dimensionado de la Flota (II)”

INDICADORES DE OPERACIONES – “DIMENSIONADO DE LA FLOTA”						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CÁLCULO	JUSTIFICACIÓN	VALORES	CONCLUSIONES
UMTRF	Unidades medias transportadas por la flota	UNT	MEDIA(UNT)	Este indicador permite conocer la carga media transportada por la flota	Los valores dependen del tipo de carga (unidades transportadas)	Un elevado valor de la media conlleva a un mejor aprovechamiento de transporte
<p>Nota: El indicador UMTRF debe considerar la distinta tipología de empresas, en función del tipo de flota (viajeros, residuos o mercancías), por lo que la unidad transportada podrá ser: número de viajeros, cantidad de residuos o cantidad de mercancía transportada.</p>						
	Número de viajeros transportados por la flota	UNT[Vj]	MEDIA(UNT)	Este indicador permite conocer los pasajeros transportados por viaje de la flota	Los valores dependen del tipo de vehículo y tipo de ruta	Un elevado valor de la media conlleva a un mejor aprovechamiento de transporte en cada viaje
	Toneladas transportadas por la flota	UNT[Tn]	MEDIA(UNT)	Este indicador permite conocer la carga media de transportada por viaje de la flota	Los valores dependen del tipo de vehículo y tipo de ruta	Un elevado valor de la media conlleva a un mejor aprovechamiento de transporte en cada viaje
	Toneladas de residuo transportadas por la flota	UNT[Tn Residuo]	MEDIA(UNT)	Este indicador permite conocer la carga media de transportada por viaje de la flota	Los valores dependen del tipo de vehículo y tipo de ruta	Un elevado valor de la media conlleva a un mejor aprovechamiento de transporte en cada viaje
EM	Edad media de la flota	ANT	MEDIA(ANT)	Este indicador permite conocer lo moderna que es la flota de vehículos	Los valores dependen de la antigüedad de los vehículos	Cuanto menor sea la media mejor rendimiento ofrecerán los vehículos en cuanto a consumo, mantenimiento, etc.

Tabla 45. Indicadores de Operaciones – “Dimensionado de la Flota (III)”

Indicadores sobre Operaciones de Mantenimiento

Para medir la eficiencia del taller se emplean los indicadores sobre las operaciones de mantenimiento, ya sean aplicados al taller propio, en caso de que lo hubiere, o aplicados al servicio de taller externo.

INDICADORES DE OPERACIONES – “MANTENIMIENTO”						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
PD72	Porcentaje de defectos corregidos en menos de 72 horas	D72 DEF	$100 * D72 / DEF$	Un indicador necesario para medir la eficiencia de las reparaciones	Los valores dependen de si se reparan en talleres propios o no	Un mejor control de la flota debe reducir las averías no planificadas
PIMN	Porcentaje de inspecciones retrasadas o no superadas	IMN IMT	$100 * IMN / IMT$	Un indicador necesario para medir la eficiencia de las reparaciones	Los valores dependen de si se reparan en talleres propios o no	Un mejor control de la flota debe reducir las revisiones no superadas o retrasadas
PAV	Porcentaje de averías	AVE	$100 * AVE / IMT$	Un indicador necesario para medir las operaciones correctivas	Los valores dependen del mantenimiento preventivo	Un mejor plan de mantenimiento preventivo debe reducir el número de averías
MNMT	Media del número de vehículos en mantenimiento	NMT	MEDIA(NMT)	Un indicador necesario para medir la eficiencia de los mantenimientos planificados	Los valores a medio plazo deben ser similares a los que marca el fabricante	Se debe mantener estable a medio plazo y solo crecer en los vehículos más antiguos
MDM	Media de la duración de los mantenimientos	DMV	MEDIA(DMV)	Un indicador necesario para medir la eficiencia de los mantenimientos	Los valores dependen de si se reparan en talleres propios o no	Una mejora en la eficiencia de la flota reducirá la duración media de las reparaciones

Tabla 46. Indicadores de Operaciones – “Mantenimiento (I)”

INDICADORES DE OPERACIONES – “MANTENIMIENTO”						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
MDMV	Media de la duración de los mantenimientos por vehículo	DMV	DMV	Un indicador necesario para medir la inactividad por vehículo	Los valores dependen de si se reparan en talleres propios o no	Una mejora en la eficiencia de la flota reducirá la duración media de las reparaciones
RITV	Porcentaje de vehículos con Defectos Graves en ITV	NVDG NTV	(NVDG/NTV)	Un indicador útil para medir la eficiencia de las reparaciones y la obsolescencia de la flota	Los valores sólo incluyen defectos graves que precisan nueva inspección	Un mejor mantenimiento o una flota más moderna inciden en la disminución de este indicado

Tabla 47. Indicadores de Operaciones – “Mantenimiento (II)”

Indicadores sobre Calidad de Servicio

Con este grupo de indicadores se mide la calidad del servicio ofrecido por la flota de transporte en relación a las entregas realizadas a los clientes.

INDICADORES DE OPERACIONES – “CALIDAD DE SERVICIO”						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
PERT	Porcentaje de los servicios retrasados (entregas)	ENT ERT	ERT/SUMA(ENT)	Un indicador de la calidad de servicio debe estar ligado a los retrasos en las entregas	Los valores deben ser cercanos a cero	Un dispositivo de control y seguimiento tiene un efecto positivo en la reducción de este indicador
PUND	Porcentaje de unidades transportadas defectuosas (para transporte de mercancías)	ENT END	END/SUMA(UNT)	Un indicador de la calidad de servicio debe estar ligado a las unidades defectuosas originadas en el transporte	Los valores deben ser cercanos a cero	Un seguimiento tiene un efecto positivo en la reducción de este indicador
PQJA	Porcentaje de quejas respecto al total de servicios	QJA ENT	QJA/SUMA(ENT)	Un indicador de la calidad de servicio debe estar ligado a las quejas de los clientes	Los valores deben ser cercanos a cero	Una gestión óptima del servicio tiene un efecto positivo en la satisfacción del cliente respecto a las entregas

Tabla 48. Indicadores de Operaciones – “Calidad de Servicio”

Indicadores sobre Operaciones de Rutas

Los indicadores relacionados con las rutas realizadas por los vehículos de la flota son los encargados de medir la eficiencia en la gestión de dichas rutas.

INDICADORES DE OPERACIONES – “RUTAS”						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
VLMF	Velocidad media de la flota	KMT HDV	KMT/HDV	Un indicador ampliamente utilizado en flotas de transportes es la velocidad media de la flota	Los valores dependen de la actividad específica de la empresa: urbano, interurbano o internacional	Una optimización de las operaciones puede permitir un aumento de la velocidad media de la flota
VLMC	Velocidad media por conductor	KMC HDV- Cond	KMC/HDV-Cond	Un indicador ampliamente utilizado en flotas de transportes es la velocidad media por conductor	Los valores dependen de la actividad específica de la empresa: urbano, interurbano o internacional	Una optimización de las operaciones puede permitir un aumento de la velocidad media de la flota
VLMV	Velocidad media de la flota	KMV HDV- Veh	KMC/HDV-Veh	Un indicador ampliamente utilizado en flotas de transportes es la velocidad media por vehículo	Los valores dependen de la actividad específica de la empresa: urbano, interurbano o internacional	Una optimización de las operaciones puede permitir un aumento de la velocidad media de la flota
KMMF	Distancia mensual recorrida por la flota	KMT	KMT	La distancia mensual recorrida indica el nivel de actividad de la flota	Los valores dependen de la actividad específica de la empresa: urbano, interurbano o internacional	A corto plazo, con una actividad estable, una disminución de las distancias medias recorridas refleja una optimización de las rutas

Tabla 49. Indicadores de Operaciones – “Rutas (I)”

INDICADORES DE OPERACIONES – “RUTAS”						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
KMMC	Distancia mensual recorrida por conductor	KMC	KMC	La distancia mensual recorrida indica el nivel de actividad por conductor	Los valores dependen de la actividad específica de la empresa: urbano, interurbano o internacional	A corto plazo, con una actividad estable, una disminución de las distancias medias recorridas refleja una optimización de las rutas
KMMV	Distancia mensual recorrida por vehículo	KMV	KMV	La distancia mensual recorrida indica el nivel de actividad por vehículo	Los valores dependen de la actividad específica de la empresa: urbano, interurbano o internacional	A corto plazo, con una actividad estable, una disminución de las distancias medias recorridas refleja una optimización de las rutas
KMVF	Distancia mensual recorrida en vacío por la flota	KMVV	SUMA(KMVV)	La distancia mensual recorrida en vacío es un indicador de la eficiencia de las operaciones	Los valores dependen de la actividad específica de la empresa: urbano, interurbano o internacional	A corto plazo, una optimización de las rutas reduce las distancias recorridas en vacío
KMVV	Distancia mensual recorrida en vacío por vehículo	KMVV	KMVV	La distancia mensual recorrida en vacío es un indicador de la eficiencia de las operaciones por vehículo	Los valores dependen de la actividad específica de la empresa: urbano, interurbano o internacional	A corto plazo, una optimización de las rutas reduce las distancias recorridas en vacío
PKMV	Porcentaje de la distancia recorrida en vacío	KMVV KMT	SUMA(KMV)/SUMA(KMT)	Un indicador ampliamente utilizado en transporte de mercancías es el índice de recorrido en vacío	Los valores serán inferiores a la unidad. Valores en torno al 13% en transporte a larga distancia son buenos	Un control y seguimiento de la flota, permitirá reducir este valor para que se aproxime a cero

Tabla 50. Indicadores de Operaciones – “Rutas (II)”

INDICADORES DE OPERACIONES – “RUTAS”						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
KMCF	Distancia mensual recorrida en carga por la flota	KMVV	$KMT-SUMA(KMVV)$	La distancia mensual recorrida en carga es un indicador de la eficiencia de las operaciones	Los valores dependen de la actividad específica de la empresa: urbano, interurbano o internacional	A corto plazo, una optimización de las rutas aumenta las distancias recorridas en carga
KMCV	Distancia mensual recorrida en carga por vehículo	KMVV	$KMV-KMVV$	La distancia mensual recorrida en carga es un indicador de la eficiencia de las operaciones por vehículo	Los valores dependen de la actividad específica de la empresa: urbano, interurbano o internacional	A corto plazo, una optimización de las rutas aumenta las distancias recorridas en carga
PKMC	Porcentaje de la distancia recorrida en carga	KMVV KMT	$1-PKMV$	Un indicador ampliamente utilizado en transporte de mercancías es el índice de recorrido en carga, complementario del recorrido en vacío	Los valores serán inferiores a la unidad. Valores en torno al 87% en transporte a larga distancia son buenos	Un control y seguimiento de la flota, permitirá aumentar este valor para que se aproxime a uno
PHRT	Porcentaje del tiempo de los vehículos en operación	HRT HRD	$SUMA(HRT)/SUMA(HRD)$	Este indicador mide la utilización real de los vehículos	Los valores serán inferiores a la unidad y próximos a 1	Un buen control de los vehículos evitarán pérdidas de tiempos y mejorarán los tiempos de operación
PHRTF	Media del Porcentaje del tiempo de los vehículos en operación para la flota	HRT HRD	$MEDIA(PHRT)$	Este indicador mide la utilización real de los vehículos de la flota	Los valores serán inferiores a la unidad y próximos a 1	Un buen control de los vehículos evitarán pérdidas de tiempos y mejorarán los tiempos de operación

Tabla 51. Indicadores de Operaciones – “Rutas (III)”

INDICADORES DE OPERACIONES – “RUTAS”						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CÁLCULO	JUSTIFICACIÓN	VALORES	CONCLUSIONES
UMT	Unidades medias transportadas por viaje	UNT VJR	MEDIA(UNT/VJR)	Este indicador permite conocer la carga media de transportada por viaje de la flota	Los valores dependen del tipo de carga (unidades transportadas)	Un elevado valor de la media conlleva a un mejor aprovechamiento de transporte en cada viaje
Nota: El indicador UMT debe considerar la distinta tipología de empresas, en función del tipo de flota (viajeros, residuos o mercancías), por lo que la unidad transportada podrá ser: número de viajeros, cantidad de residuos o cantidad de mercancía transportada.						
	Número de viajeros transportados por viaje	UNT[Vj] VJR	MEDIA(UNT/VJR)	Este indicador permite conocer los pasajeros transportados por viaje de la flota	Los valores dependen del tipo de vehículo y tipo de ruta	Un elevado valor de la media conlleva a un mejor aprovechamiento de transporte en cada viaje
	Toneladas transportadas por viaje	UNT[Tn] VJR	MEDIA(UNT/VJR)	Este indicador permite conocer la carga media de transportada por viaje de la flota	Los valores dependen del tipo de vehículo y tipo de ruta	Un elevado valor de la media conlleva a un mejor aprovechamiento de transporte en cada viaje
	Toneladas de residuo transportadas por viaje	UNT[Tn Residuo] VJR	MEDIA(UNT/VJR)	Este indicador permite conocer la carga media de transportada por viaje de la flota	Los valores dependen del tipo de vehículo y tipo de ruta	Un elevado valor de la media conlleva a un mejor aprovechamiento de transporte en cada viaje

Tabla 52. Indicadores de Operaciones – “Rutas (IV)”

INDICADORES DE OPERACIONES – “RUTAS”						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CÁLCULO	JUSTIFICACIÓN	VALORES	CONCLUSIONES
UMTV	Unidades medias transportadas por vehículo y viaje	UNT VJR	MEDIA(UNT/VJR)	Este indicador permite conocer la carga media de transportada por viaje de la flota	Los valores dependen del tipo de carga (unidades transportadas)	Un elevado valor de la media conlleva a un mejor aprovechamiento de transporte en cada viaje
<p>Nota: El indicador UMT debe considerar la distinta tipología de empresas, en función del tipo de flota (viajeros, residuos o mercancías), por lo que la unidad transportada podrá ser: número de viajeros, cantidad de residuos o cantidad de mercancía transportada.</p>						
	Número de viajeros transportados por vehículo y viaje	UNT[Vj] VJR-Veh	MEDIA(UNT/VJR-Veh)	Este indicador permite conocer los pasajeros transportados por vehículo y viaje	Los valores dependen del tipo de vehículo y tipo de ruta	Un elevado valor de la media conlleva a un mejor aprovechamiento de transporte en cada viaje
	Toneladas transportadas por vehículo y viaje	UNT[Tn] VJR-Veh	MEDIA(UNT/VJR-Veh)	Este indicador permite conocer la carga media de transportada por vehículo y viaje	Los valores dependen del tipo de vehículo y tipo de ruta	Un elevado valor de la media conlleva a un mejor aprovechamiento de transporte en cada viaje
	Toneladas de residuo transportadas por vehículo y viaje	UNT[Tn Residuo] VJR-Veh	MEDIA(UNT/VJR-Veh)	Este indicador permite conocer la carga media de transportada por vehículo y viaje	Los valores dependen del tipo de vehículo y tipo de ruta	Un elevado valor de la media conlleva a un mejor aprovechamiento de transporte en cada viaje
UMTC	Unidades medias transportadas respecto a capacidad máxima de cada vehículo	UNT VJR MMA	MEDIA(UNT/VJR*MMA)	Este indicador permite conocer la carga media de ocupación de los vehículos	Los valores serán inferiores a la unidad	Este indicador debe tender a la unidad y puede dar una idea de la necesidad de ampliar la flota

Tabla 53. Indicadores de Operaciones – “Rutas (V)”

INDICADORES DE OPERACIONES – “RUTAS”						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CÁLCULO	JUSTIFICACIÓN	VALORES	CONCLUSIONES
FRR	Frecuencia media de los viajes	FRR	MEDIA(FRR)	Este indicador permite conocer la frecuencia de los viajes realizados	Los valores dependen del tipo de servicio	Un mayor nivel de actividad conlleva a una mayor frecuencia en los viajes de la flota
<p>Nota: El indicador FRR debe considerar la distinta tipología de empresas, en función del tipo de flota (viajeros, residuos o mercancías), por lo que los viajes pueden ser líneas de transporte público, rutas de recogida de residuos urbanos o rutas de transporte de mercancías.</p>						
	Frecuencia media de las rutas de las líneas de transporte público	FRR [TP]	MEDIA(FRR)	Este indicador permite conocer la frecuencia de las rutas de las líneas de transporte público	Los valores dependen del tipo de vehículo y tipo de línea, urbana o interurbana	Un mayor nivel de actividad conlleva a una mayor frecuencia en los viajes de la flota
	Frecuencia media de las rutas de recogida de residuos urbanos	FRR [RU]	MEDIA(FRR)	Este indicador permite conocer la frecuencia de las rutas de recogida de residuos urbanos	Los valores dependen del tipo de vehículo y tipo de recogida (recogida de residuos orgánicos o recogida selectiva)	Un mayor nivel de actividad conlleva a una mayor frecuencia en los viajes de la flota
	Frecuencia media de las rutas de transporte de mercancías	FRR [M]	MEDIA(FRR)	Este indicador permite conocer la frecuencia de las rutas de transporte de mercancías	Los valores dependen del tipo de vehículo y tipo de servicio	Un mayor nivel de actividad conlleva a una mayor frecuencia en los viajes de la flota

Tabla 54. Indicadores de Operaciones – “Rutas (VI)”

INDICADORES DE OPERACIONES – “RUTAS”						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CÁLCULO	JUSTIFICACIÓN	VALORES	CONCLUSIONES
PCU	Porcentaje de conducción urbana de la flota	KMTU KMT	$KMTU/KMT$	Este indicador permite conocer el tipo de servicio, urbano o interurbano, y su influencia en el consumo	Los valores dependen del tipo de servicio	Una optimización de rutas urbanas debe disminuir el porcentaje de conducción urbana
PCUV	Porcentaje de conducción urbana por vehículo	KMTUV KMV	$KMTUV/KMV$	Este indicador permite conocer el tipo de servicio, urbano o interurbano, y su influencia en el consumo por cada vehículo	Los valores dependen del tipo de servicio	Una optimización de rutas urbanas debe disminuir el porcentaje de conducción urbana por vehículo

Tabla 55. Indicadores de Operaciones – “Rutas (VII)”

Indicadores sobre No Conformidades

Este grupo de indicadores permiten analizar las incidencias de conducción en la flota de vehículos.

INDICADORES DE OPERACIONES – “NO CONFORMIDADES”						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
ACCK	Nº de accidentes de tráfico por kilómetro recorrido	ACP ACT KMT	$(ACP+ACT)/SUMA(KMT)$	Un indicador de las no conformidades debe ligarse a los accidentes de tráfico	Los valores deben ser cercanos a cero	Un dispositivo de control y seguimiento tiene un efecto positivo en la reducción de este indicador
NEVK	Nº de excesos de velocidad por kilómetro recorrido	EXV KMT	$EXV/SUMA(KMT)$	Un indicador de las no conformidades debe ligarse a los excesos de velocidad	Los valores deben ser cercanos a cero	Un dispositivo de control y seguimiento tiene un efecto positivo en la reducción de este indicador
NECK	Nº de excesos de conducción por kilómetro recorrido	EXC KMT	$EXC/SUMA(KMT)$	Un indicador de las no conformidades debe ligarse a los excesos de conducción	Los valores deben ser cercanos a cero	Un dispositivo de control y seguimiento tiene un efecto positivo en la reducción de este indicador
NEPK	Nº de excesos de parada por kilómetro recorrido	EXP KMT	$EXP/SUMA(KMT)$	Un indicador de las no conformidades debe ligarse a los excesos de parada	Los valores deben ser cercanos a cero	Un dispositivo de control y seguimiento tiene un efecto positivo en la reducción de este indicador
NALK	Nº de alarmas por exceso/defecto de Tª por kilómetro recorrido	ALT KMT	$ALT/SUMA(KMT)$	Un indicador de las no conformidades debe ligarse a las alarmas por exceso/defecto de temperatura	Los valores deben ser cercanos a cero	Un dispositivo de control y seguimiento tiene un efecto positivo en la reducción de este indicador

Tabla 56. Indicadores de Operaciones – “No Conformidades (I)”

INDICADORES DE OPERACIONES – “NO CONFORMIDADES”						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
NAPK	Nº de alarmas por sensor de apertura de puertas	ALA KMT	ALA/SUMA(KMT)	Un indicador de las no conformidades debe ligarse a las alarmas del sensor de apertura de puertas	Los valores deben ser cercanos a cero	Un dispositivo de control y seguimiento tiene un efecto positivo en la reducción de este indicador
NMLK	Nº de multas por kilómetro recorrido	NMM KMT	NMM/SUMA(KMT)	Un indicador de las no conformidades debe ligarse a las multas	Los valores deben ser cercanos a cero	Un dispositivo de control y seguimiento tiene un efecto positivo en la reducción de este indicador

Tabla 57. *Indicadores de Operaciones – “No Conformidades (II)”*

Donde:

- *KMT*: Kilómetros recorridos.
- *KMC*: Kilómetros recorridos por conductor.
- *KMV*: Kilómetros recorridos por vehículo.
- *KMVV*: Kilómetros en vacío por vehículo.
- *KMTU*: Kilómetros urbanos recorridos.
- *KMTUV*: Kilómetros urbanos recorridos por vehículo.
- *HDV*: Horas de viaje totales de la flota.
- *HDV-Cond*: Horas de viaje por conductor.
- *HDV-Veh*: Horas de viaje por vehículo.
- *VJR*: Número de viajes realizados totales.
- *VJR-Veh*: N° de viajes realizados por vehículo.
- *VJR-Cond*: N° de viajes realizados por conductor.
- *UNT*: Unidades transportadas (número de viajes, toneladas de residuos, toneladas de mercancías).
- *HRT*: Horas trabajadas.
- *HRD*: Horas disponibles.
- *MMA*: Masa máxima autorizada o número de plazas.
- *ENT*: Número de entregas.
- *END*: Número de unidades transportadas defectuosas.
- *ERT*: Número de entregas retrasadas.
- *EXC*: Número de excesos de conducción.
- *EXV*: Número de excesos de velocidad.
- *EXP*: Número de excesos de parada.
- *ACP*: Número de accidentes por culpa propia.
- *ACT*: Número de accidentes por culpa de terceros.
- *NMM*: Número de multas.
- *ALA*: N° alarmas sensor de apertura de puertas.
- *ALT*: Número de alarmas por exceso/defecto de temperatura.
- *DMV*: Duración mantenimiento por vehículo.
- *NMT*: Número de vehículos en mantenimiento.
- *DEF*: Número de defectos encontrados.
- *D72*: Número de defectos rectificadas en menos de 24 horas.

- *IMT*: Número de inspecciones realizadas.
- *IMN*: N° de inspecciones retrasadas o no superadas.
- *AVE*: Número de averías.
- *QJA*: Número de quejas.
- *NTV*: Número total de vehículos.
- *NVDG*: Número de vehículos con Def Graves en ITV.
- *ANT*: Antigüedad de los vehículos.
- *FRR*: Frecuencia de cada viaje (líneas de autobuses, recogida de residuos urbanos o transporte de mercancías).

INDICADORES ENERGÉTICOS

Respecto al sistema de seguimiento en base a indicadores energéticos, se muestran en las tablas siguientes un completo sistema de indicadores para el seguimiento energético de la flota de vehículos. Para cada indicador se muestra su código de clasificación, descripción, datos necesarios para su cálculo y la expresión de la misma, la justificación de su obtención, el rango de valores o valor óptimo en la flota y conclusiones para su mejora.

INDICADORES ENERGÉTICOS						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
CNMF	Consumo medio mensual de la flota	<i>LTC</i> <i>KMT</i>	$MEDIA(100*LTC/KMT)$	El consumo medio de los vehículos es el indicador más usado en flotas de transporte	Los valores medios del consumo de una flota dependen de la estructura de los vehículos, y deben estar en el margen que marca el fabricante	Una reducción del consumo siempre es positiva por su ahorro energético. Se debe esperar una reducción del mismo con un control eficiente
CNMU	Consumo medio mensual por unidad transportada	<i>LTC</i> <i>KMT</i> <i>UNT</i>	$MEDIA(100*LTC/(KMT*UNT))$	El consumo en transporte de mercancías depende de la carga transportada por lo que se ha de considerar este factor	Los valores dependen del tipo de vehículo	Con un control eficiente de la flota junto con medidas de conducción eficiente, se debe reducir el consumo por unidad transportada
<p>Nota: El indicador CNMU debe considerar la distinta tipología de empresas, en función del tipo de flota (viajeros, residuos o mercancías), por lo que la unidad transportada podrá ser: número de viajeros, cantidad de residuos o cantidad de mercancía transportada.</p>						
Consumo medio mensual por número de viajeros		<i>LTC</i> <i>KMT</i> <i>UNT [Vj]</i>	$MEDIA(100*LTC/(KMT*UNT))$	El consumo en transporte de pasajeros depende de los viajeros transportados	Los valores dependen del tipo de vehículo	Se debe reducir el consumo por viajero transportado
Consumo medio mensual por tonelada transportada		<i>LTC</i> <i>KMT</i> <i>UNT [Tn]</i>	$MEDIA(100*LTC/(KMT*UNT))$	El consumo en transporte de mercancías depende de las Tn transportadas	Los valores dependen del tipo de vehículo	Se debe reducir el consumo por tonelada transportada
Consumo medio mensual por tonelada de residuo transportada		<i>LTC</i> <i>KMT</i> <i>UNT [Tn Residuo]</i>	$MEDIA(100*LTC/(KMT*UNT))$	El consumo en transporte de mercancías depende de las Tn transportadas	Los valores dependen del tipo de vehículo	Se debe reducir el consumo por tonelada transportada de residuo

Tabla 58. *Indicadores Energéticos (I)*

INDICADORES ENERGÉTICOS						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
CNMV	Consumo medio mensual de cada vehículo	LTC KMT	$100 * LTC / KMT$	El consumo medio de cada vehículo permite evaluar la eficiencia energética de los mismos	Los valores dependen del tipo de vehículo y deben estar en el margen que marca el fabricante de cada uno	Una reducción del consumo siempre es positiva por su ahorro energético. Se debe esperar una reducción con un control eficiente
CNMT	Consumo medio mensual de cada tipo de vehículo	TPV LTC KMT	$MEDIA(TPV; 100 * LTC / KMT)$	El consumo medio de cada tipo de vehículos permite comparar consumos entre los mismos por grupos	Los valores dependen del tipo de vehículo y deben estar en el margen que marca el fabricante de cada uno	Una reducción del consumo siempre es positiva por su ahorro energético. Se debe esperar una reducción con un control eficiente
CNMC	Consumo medio mensual por conductor	CDC LTC KMT	$MEDIA(CDC; 100 * LTC / KMT)$	Permite comparar consumos entre conductores	Los valores dependen del tipo de conducción	Con medidas de conducción eficiente debe reducirse el consumo

Tabla 59. Indicadores Energéticos (II)

Donde:

- *LTC*: Litros de combustible consumidos.
- *KMT*: Kilómetros recorridos.
- *UNT*: Unidades transportadas (número de viajes, toneladas de residuos, toneladas de mercancías).
- *TPV*: Tipo de vehículo.
- *CDC*: Código del conductor.

INDICADORES MEDIOAMBIENTALES

Los indicadores medio ambientales resumen extensos datos medio ambientales en información clave significativa y comparable a fin de presentar el comportamiento medio ambiental de una empresa de transporte de manera exhaustiva y cuantificable.

Respecto al sistema de seguimiento en base a indicadores medioambientales, se muestran en las tablas siguientes un completo sistema de indicadores para el seguimiento ambiental de la flota de vehículos. Para cada indicador se muestra su código de clasificación, descripción, datos necesarios para su cálculo y la expresión de la misma, la justificación de su obtención, el rango de valores o valor óptimo en la flota y conclusiones para su mejora.

INDICADORES MEDIOAMBIENTALES						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
CO2F	Cantidad mensual de emisiones de CO ₂ de la flota	LTC TPC	$SUMA(LTC*Factor(TPC))$	Una reducción del consumo siempre va acompañado de una reducción de las emisiones totales	Las emisiones de CO ₂ son directamente proporcionales al consumo y al tipo de combustible	Una reducción de las emisiones de CO ₂ es positiva por su impacto ambiental. Se debe esperar una reducción con un control eficiente
CO2K	Cantidad media de emisiones de CO ₂ de la flota por kilómetro recorrido	LTC TPC KMT	$1000*SUMA(LTC*Factor(TPC))/SUMA(KMT)$	El indicador habitual para medir las emisiones de CO ₂ es a través de los km recorridos	Los valores de gramos de CO ₂ por km depende del consumo y el tipo de combustible	Una reducción de las emisiones de CO ₂ es positiva por su impacto ambiental. Se debe esperar una reducción con un control eficiente
CO2V	Cantidad mensual de emisiones de CO ₂ por vehículo	LTC TPC	$LTC*Factor(TPC)$	Una reducción del consumo siempre va acompañado de una reducción de las emisiones totales	Las emisiones de CO ₂ son directamente proporcionales al consumo y al tipo de combustible	Una reducción de las emisiones de CO ₂ es positiva por su impacto ambiental. Se debe esperar reducción con un control eficiente
CO2VK	Cantidad media de emisiones de CO ₂ por vehículo y Km recorrido	LTC TPC KMT	$1000* LTC*Factor(TPC))/(KMT)$	El indicador habitual para medir las emisiones de CO ₂ por vehículo es a través de los km recorridos	Los valores de gramos de CO ₂ por km depende del consumo y el tipo de combustible	Una reducción de las emisiones de CO ₂ es positiva por su impacto ambiental. Se debe esperar reducción con un control eficiente

Tabla 60. Indicadores Medioambientales (I)

INDICADORES MEDIOAMBIENTALES						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
CH4F	Cantidad mensual de emisiones de CH₄ de la flota	LTC TPC EUR TPV	$SUMA(LTC * Factor(TPC, EUR, TPV))$	El CH ₄ es un contaminante de efecto global y debe ser controlado	Las emisiones de CH ₄ dependen del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de CH ₄ con un control eficiente
CH4K	Cantidad media de emisiones de CH₄ de la flota por kilómetro recorrido	LTC TPC EUR TPV KMT	$1000 * SUMA(LTC * Factor(TPC, EUR, TPV)) / SUMA(KMT)$	El CH ₄ es un contaminante de efecto global y debe ser controlado	Los valores de gramos de CH ₄ por km depende del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de CH ₄ con un control eficiente
CH4V	Cantidad mensual de emisiones de CH₄ por vehículo	LTC TPC EUR TPV	$LTC * Factor(TPC, EUR, TPV)$	El CH ₄ es un contaminante de efecto global y debe ser controlado	Las emisiones de CH ₄ dependen del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de CH ₄ con un control eficiente
CH4VK	Cantidad media de emisiones de CH₄ por vehículo y Km recorrido	LTC TPC EUR TPV KMT	$1000 * LTC * Factor(TPC, EUR, TPV) / (KMT)$	El CH ₄ es un contaminante de efecto global y debe ser controlado	Los valores de gramos de CH ₄ por km depende del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de CH ₄ con un control eficiente

Tabla 61. *Indicadores Medioambientales (II)*

INDICADORES MEDIOAMBIENTALES						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
NOXF	Cantidad mensual de emisiones de NO _x de la flota	LTC TPC EUR TPV	$SUMA(LTC * Factor(TPC, EUR, TPV))$	Los NO _x son contaminantes de efecto local y deben ser controlados	Las emisiones de NO _x dependen del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de NO _x con un control eficiente
NOXK	Cantidad media de emisiones de NO _x de la flota por kilómetro recorrido	LTC TPC EUR TPV KMT	$SUMA(LTC * Factor(TPC, EUR, TPV)) / SUMA(KMT)$	Los NO _x son contaminantes de efecto local y deben ser controlados	Los valores de gramos de NO _x por km depende del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de NO _x con un control eficiente
NOXV	Cantidad mensual de emisiones de NO _x por vehículo	LTC TPC EUR TPV	$LTC * Factor(TPC, EUR, TPV)$	Los NO _x son contaminantes de efecto local y deben ser controlados	Las emisiones de NO _x dependen del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de NO _x con un control eficiente
NOXVK	Cantidad media de emisiones de NO _x por vehículo y Km recorrido	LTC TPC EUR TPV KMT	$LTC * Factor(TPC, EUR, TPV) / (KMT)$	Los NO _x son contaminantes de efecto local y deben ser controlados	Los valores de gramos de NO _x por km depende del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de NO _x con un control eficiente

Tabla 62. Indicadores Medioambientales (III)

INDICADORES MEDIOAMBIENTALES						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
COFL	Cantidad mensual de emisiones de CO de la flota	LTC TPC EUR TPV	$SUMA(LTC * Factor(TPC, EUR, TPV))$	El CO es un contaminante de efecto local y debe ser controlado	Las emisiones de CO dependen del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de CO con un control eficiente
COK	Cantidad media de emisiones de CO de la flota por kilómetro recorrido	LTC TPC EUR TPV KMT	$SUMA(LTC * Factor(TPC, EUR, TPV)) / SUMA(KMT)$	Los CO son contaminantes de efecto local y deben ser controlados	Los valores de gramos de CO por km depende del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de CO con un control eficiente
COV	Cantidad mensual de emisiones de CO por vehículo	LTC TPC EUR TPV	$LTC * Factor(TPC, EUR, TPV)$	Los CO son contaminantes de efecto local y deben ser controlados	Las emisiones de CO dependen del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de CO con un control eficiente
COVK	Cantidad media de emisiones de CO por vehículo y Km recorrido	LTC TPC EUR TPV KMT	$LTC * Factor(TPC, EUR, TPV) / (KMT)$	Los CO son contaminantes de efecto local y deben ser controlados	Los valores de gramos de CO por km depende del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de CO con un control eficiente

Tabla 63. Indicadores Medioambientales (IV)

INDICADORES MEDIOAMBIENTALES						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
CovF	Cantidad mensual de emisiones de COV de la flota	LTC TPC EUR TPV	$SUMA(LTC * Factor(TPC, EUR, TPV))$	Los COV son contaminantes de efecto local y deben ser controlados	Las emisiones de COV dependen del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de COV con un control eficiente
CovK	Cantidad media de emisiones de COV de la flota por kilómetro recorrido	LTC TPC EUR TPV KMT	$SUMA(LTC * Factor(TPC, EUR, TPV)) / SUMA(KMT)$	Los COV son contaminantes de efecto local y deben ser controlados	Los valores de gramos de COV por km depende del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de COV con un control eficiente
CovV	Cantidad mensual de emisiones de COV por vehículo	LTC TPC EUR TPV	$LTC * Factor(TPC, EUR, TPV)$	Los COV son contaminantes de efecto local y deben ser controlados	Las emisiones de COV dependen del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de COV con un control eficiente
CovVK	Cantidad media de emisiones de COV por vehículo y Km recorrido	LTC TPC EUR TPV	$LTC * Factor(TPC, EUR, TPV) / (KMT)$	Los COV son contaminantes de efecto local y deben ser controlados	Los valores de gramos de COV por km depende del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de COV con un control eficiente

Tabla 64. Indicadores Medioambientales (V)

INDICADORES MEDIOAMBIENTALES						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
PMF	Cantidad mensual de emisiones de PM de la flota	LTC TPC EUR TPV	$SUMA(LTC * Factor(TPC, EUR, TPV))$	Los PM son contaminantes de efecto local y deben ser controlados	Las emisiones de PM dependen del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de PM con un control eficiente
PMK	Cantidad media de emisiones de PM de la flota por kilómetro recorrido	LTC TPC EUR TPV KMT	$SUMA(LTC * Factor(TPC, EUR, TPV)) / SUMA(KMT)$	Los PM son contaminantes de efecto local y deben ser controlados	Los valores de gramos de PM por km depende del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de PM con un control eficiente
PMV	Cantidad mensual de emisiones de PM por vehículo	LTC TPC EUR TPV	$LTC * Factor(TPC, EUR, TPV)$	Los PM son contaminantes de efecto local y deben ser controlados	Las emisiones de PM dependen del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de PM con un control eficiente
PMVK	Cantidad media de emisiones de PM por vehículo y Km recorrido	LTC TPC EUR TPV	$LTC * Factor(TPC, EUR, TPV) / (KMT)$	Los PM son contaminantes de efecto local y deben ser controlados	Los valores de gramos de PM por km depende del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de PM con un control eficiente

Tabla 65. Indicadores Medioambientales (VI)

INDICADORES MEDIOAMBIENTALES

CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
MetF	Cantidad mensual de emisiones de Metales de la flota	LTC TPC EUR TPV	$SUMA(LTC * Factor(TPC, EUR, TPV))$	Los Metales son contaminantes de efecto local y deben ser controlados	Las emisiones de Metales dependen del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de Metales con un control eficiente
MetK	Cantidad media de emisiones de Metales de la flota por kilómetro recorrido	LTC TPC EUR TPV KMT	$SUMA(LTC * Factor(TPC, EUR, TPV)) / SUMA(KMT)$	Los Metales son contaminantes de efecto local y deben ser controlados	Los valores de gramos de Metales por km depende del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de Metales con un control eficiente
MetV	Cantidad mensual de emisiones de Metales por vehículo	LTC TPC EUR TPV	$LTC * Factor(TPC, EUR, TPV)$	Los Metales son contaminantes de efecto local y deben ser controlados	Las emisiones de Metales dependen del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de Metales con un control eficiente
MetVK	Cantidad media de emisiones de Metales por vehículo y Km recorrido	LTC TPC EUR TPV KMT	$LTC * Factor(TPC, EUR, TPV) / (KMT)$	Los Metales son contaminantes de efecto local y deben ser controlados	Los valores de gramos de Metales por km depende del consumo, el tipo de combustible y el tipo de vehículo, según su normativa Euro	Se debe esperar una reducción de las emisiones de Metales con un control eficiente

Tabla 66. Indicadores Medioambientales (VII)

Donde:

- *LTC*: Litros de combustible consumidos.
- *KMT*: Kilómetros recorridos.
- *TPC*: Tipo de combustible.
- *EUR*: Norma Euro.
- *TPV*: Tipo de vehículo.
- *NOXF*: Cantidad mensual de emisiones de NO_x de la flota.
- *COVF*: Cantidad mensual de emisiones de COV de la flota.

INDICADORES ECONÓMICOS

Respecto al sistema de seguimiento en base a indicadores económicos, se muestran en las tablas siguientes un completo sistema de indicadores, en el que para cada indicador se muestra su código de clasificación, descripción, datos necesarios para su cálculo y la expresión de la misma, la justificación de su obtención, el rango de valores o valor óptimo en la flota y conclusiones para su mejora.

INDICADORES ECONÓMICOS						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
CMCB	Costes mensuales de combustible	LTC PRL	$SUMA(LTC*PRL)$	Coste directo variable más importante en transporte	Valor global que depende del tamaño de la empresa (en torno al 25-30% de todos los costes)	Un mejor uso de los vehículos reduce a corto plazo de los costes en combustibles
CMCB-Gasolina	Costes mensuales de gasolina	LTC-Gas PRL-Gas	$SUMA(LTC-Gas*PRL-Gas)$	Coste directo variable más importante en transporte	Valor global que depende del porcentaje de vehículos de la flota propulsados por gasolina	Un mejor uso de los vehículos reduce a corto plazo de los costes en gasolina
CMCB-Bio-E	Costes mensuales de bioetanol	LTC-BE PRL-BE	$SUMA(LTC-BE*PRL-BE)$	Coste directo variable más importante en transporte	Valor global que depende del porcentaje de vehículos de la flota propulsados por bioetanol	Un mejor uso de los vehículos reduce a corto plazo de los costes en bioetanol
CMCB-Diesel	Costes mensuales de diesel	LTC-Die PRL- Die	$SUMA(LTC- Die *PRL- Die)$	Coste directo variable más importante en transporte	Valor global que depende del porcentaje de vehículos de la flota propulsados por diesel	Un mejor uso de los vehículos reduce a corto plazo de los costes en diesel
CMCB-Bio-D	Costes mensuales de biodiesel	LTC-BD PRL-BD	$SUMA(LTC-BD*PRL-BD)$	Coste directo variable más importante en transporte	Valor global que depende del porcentaje de vehículos de la flota propulsados por biodiesel	Un mejor uso de los vehículos reduce a corto plazo de los costes en biodiesel
CMCB-GN	Costes mensuales de gas natural	LTC-GN PRL-GN	$SUMA(LTC-GN*PRL-GN)$	Coste directo variable más importante en transporte	Valor global que depende del porcentaje de vehículos de la flota propulsados por gas natural	Un mejor uso de los vehículos reduce a corto plazo de los costes en gas natural

Tabla 67. Indicadores Económicos (I)

INDICADORES ECONÓMICOS						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
CMCB-GLP	Costes mensuales de autogás o GLP	LTC-GLP PRL-GLP	$SUMA(LTC-GLP * PRL-GLP)$	Coste directo variable más importante en transporte	Valor global que depende del porcentaje de vehículos de la flota propulsados por GLP	Un mejor uso de los vehículos reduce a corto plazo de los costes en GLP
CMCB-VE	Costes mensuales de electricidad (vehículos eléctricos)	LTC-VE PRL-VE	$SUMA(LTC-VE * PRL-VE)$	Coste directo variable más importante en transporte	Valor global que depende del porcentaje de vehículos de la flota propulsados por VE	Un mejor uso de los vehículos reduce a corto plazo de los costes en VE
CMCB- H2	Costes mensuales de hidrógeno (vehículos hidrógeno)	LTC-H2 PRL-H2	$SUMA(LTC-H2 * PRL-H2)$	Coste directo variable más importante en transporte	Valor global que depende del porcentaje de vehículos de la flota propulsados por H2	Un mejor uso de los vehículos reduce a corto plazo de los costes en H2
CMKM	Costes mensuales de combustible por Km recorrido	LTC PRL KMT	$SUMA(LTC * PRL) / KMT$	Coste directo variable más importante en transporte por Km	Valor global que depende del tipo de combustibles y del tipo de conducción	Un mejor uso de los vehículos y el empleo de combustibles alternativos reduce a los costes en combustibles
CMKM-Gasolina	Costes mensuales de gasolina por Km recorrido	LTC-Gas PRL-Gas KMT-Gas	$SUMA(LTC-Gas * PRL-Gas) / KMT-Gas$	Coste directo variable más importante en transporte por Km permite comparar combustibles alternativos	Valor global que depende del tipo de conducción y estado de los vehículos propulsado por gasolina	Un mejor uso de los vehículos y el empleo de combustibles alternativos reduce a los costes en gasolina

Tabla 68. *Indicadores Económicos (II)*

INDICADORES ECONÓMICOS						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
CMKM-Bio-E	Costes mensuales de bioetanol por Km recorrido	LTC-BE PRL-BE KMT-BE	$SUMA(LTC-BE * PRL-BE) / KMT-BE$	Coste directo variable más importante en transporte por Km permite comparar combustibles alternativos	Valor global que depende del tipo de conducción y estado de los vehículos propulsado por bioetanol	Un mejor uso de los vehículos reduce los costes en bioetanol
CMKM-Diesel	Costes mensuales de diesel por Km recorrido	LTC-Die PRL-Die KMT-Die	$SUMA(LTC-Die * PRL-Die) / KMT-Die$	Coste directo variable más importante en transporte por Km permite comparar combustibles alternativos	Valor global que depende del tipo de conducción y estado de los vehículos propulsado por diesel	Un mejor uso de los vehículos y el empleo de combustibles alternativos reduce a los costes en diesel
CMKM-Bio-D	Costes mensuales de biodiesel por Km recorrido	LTC-BD PRL-BD KMT-BD	$SUMA(LTC-BD * PRL-BD) / KMT-BD$	Coste directo variable más importante en transporte por Km permite comparar combustibles alternativos	Valor global que depende del tipo de conducción y estado de los vehículos propulsado por biodiesel	Un mejor uso de los vehículos reduce los costes en biodiesel
CMKM-GN	Costes mensuales de gas natural por Km recorrido	LTC-GN PRL-GN KMT-GN	$SUMA(LTC-GN * PRL-GN) / KMT-GN$	Coste directo variable más importante en transporte por Km permite comparar combustibles alternativos	Valor global que depende del tipo de conducción y estado de los vehículos propulsado por gas natural	Un mejor uso de los vehículos reduce los costes en gas natural

Tabla 69. Indicadores Económicos (III)

INDICADORES ECONÓMICOS						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
CMKM-GLP	Costes mensuales de autogás o GLP por Km recorrido	LTC-GLP PRL-GLP KMT-GLP	$SUMA(LTC-GLP * PRL-GLP) / KMT-GLP$	Coste directo variable más importante en transporte por Km permite comparar combustibles alternativos	Valor global que depende del tipo de conducción y estado de los vehículos propulsado por GLP	Un mejor uso de los vehículos reduce los costes en GLP
CMKM-VE	Costes mensuales de electricidad (vehículos eléctricos) por Km recorrido	LTC-VE PRL-VE KMT-VE	$SUMA(LTC-VE * PRL-VE) / KMT-VE$	Coste directo variable más importante en transporte por Km permite comparar combustibles alternativos	Valor global que depende del tipo de conducción y estado de los vehículos eléctricos	Un mejor uso de los vehículos reduce los costes en electricidad
CMKM-H2	Costes mensuales de hidrógeno (vehículos hidrógeno) por Km recorrido	LTC-H2 PRL-H2 KMT-H2	$SUMA(LTC-H2 * PRL-H2) / KMT-H2$	Coste directo variable más importante en transporte por Km permite comparar combustibles alternativos	Valor global que depende del tipo de conducción y estado de los vehículos propulsados por H2	Un mejor uso de los vehículos reduce los costes en H2
CMNM	Costes mensuales de neumáticos	NNE CNM DNM KMT	$SUMA(CNM * NNE * KMT) / DNM$	Coste directo variable importante en transporte	Valor global que depende del tamaño de la empresa (en torno al 3-5% de todos los costes)	Un mantenimiento adecuado de los neumáticos puede aumentar su vida útil y reducir sus costes

Tabla 70. *Indicadores Económicos (IV)*

INDICADORES ECONÓMICOS						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
CMMT	Costes mensuales de mantenimiento	CMT	SUMA(CMT)	Coste directo variable importante en transporte	Valor global que depende del tamaño de la empresa (en torno al 10-12% de todos los costes)	Un plan de mantenimiento adecuado, reducirá las reparaciones no previstas
CMRP	Costes mensuales de reparaciones (averías)	CRP	SUMA(CRP)			
CMDV	Costes mensuales directos variables de la flota	LTC PRL NNE CNM DNM KMT CMT CRP	SUMA(CMCB, CMNM, CMMT, CMRP)	Son los costes que dependen directamente de la actividad	Valor global que supondrá entre el 35-40% del total de costes de la empresa	A corto plazo, con una actividad estable, una reducción de costes variables refleja una óptima gestión de las operaciones
CMAM	Costes mensuales de amortización de la flota	PRC PRR VDU	$SUMA((PRC-PRR)/VDU)/12$	Son los costes asociados a la pérdida de valor de los vehículos	Depende del coste de adquisición del vehículo, su valor residual y la vida útil del mismo	Un mantenimiento adecuado, aumentará la vida útil y reducirá los costes
CMFI	Costes mensuales de financiación de la flota	PFI CPF IFI VDU	$SUMA((PFI*CPF*IFI*(1+IFI)*EXP(PFI)/((1+IFI)^*EXP(PFI))-1)-CPF)/VDU/12$	Son los costes asociados a la financiación de los vehículos	Dependiente del capital financiado, interés y vida útil	Un mantenimiento adecuado, aumentará la vida útil y reducirá los costes

Tabla 71. Indicadores Económicos (V)

INDICADORES ECONÓMICOS						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
CMPR	Costes mensuales de personal de la flota	CTC	$SUMA(CTC)/12$	Coste derivado del personal de la plantilla	Dependiente del número del personal y de la cualificación de los mismos	Con una optimización del servicio y el dimensionamiento debe llegar a ser un coste constante
CMSG	Costes mensuales de seguros de la flota	CSG	$CSG/12$	Coste relacionado con los vehículos necesario de evaluar	Los valores dependen del tipo de vehículo	Coste que debe contemplarse en el análisis de costes de los vehículos
CMIM	Costes mensuales fiscales (impuestos) de la flota	CIM	$CIM/12$	Coste relacionado con los vehículos necesario de evaluar	Los valores dependen del tipo de vehículo	Coste que debe contemplarse en el análisis de costes de los vehículos
CMFO	Costes mensuales formación de conductores	CFO	$CFO/12$	Coste relacionado con la formación a conductores	Los valores dependen del tipo de curso y su frecuencia de impartición	Coste que debe incidir en la disminución de costes variables motivados por la conducción eficiente
CMDT	Costes mensuales dispositivos telemáticos	CDT	$CDT/12$	Coste relacionado con la adquisición de dispositivos telemáticos	Los valores dependen del tamaño de la flota y la tipología de dispositivos adquiridos	Coste que debe incidir en la disminución de costes globales por la mejora de la eficiencia en la gestión

Tabla 72. *Indicadores Económicos (VI)*

INDICADORES ECONÓMICOS						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
CMDF	Costes mensuales directos fijos de la flota	CMAM CMFI CMPR CMSG CMIM CMFO CMDT	SUMA(CMAM,CMFI,CMPR, CMSG, CMIM,CMFO)	Contempla el total de los costes directos fijos anteriores	Valor global dependiente de los costes directos	Coste que debe contemplarse en el análisis de costes de los vehículos
CMPJ	Costes mensuales de peajes	CPJ	SUMA(CPJ)	Coste relacionado con el peaje en las rutas realizadas	Dependiente de las rutas	Coste que debe contemplarse en el análisis de costes
CMPL	Costes mensuales de dietas y pluses de conductores	PLS	SUMA(PLS)	Coste relacionado con dietas y pluses de actividad	Valores dependientes de la política de la empresa respecto a dietas y pluses	A corto plazo pueden aumentar con actuaciones de motivación del personal
CMIN	Costes mensuales indirectos	CIN	CIN/12	Costes que no están directamente relacionados con el servicio de transporte	Dependiente de costes comerciales y de administración	Coste que debe contemplarse en el análisis de costes
CDKM	Costes directos por kilómetro recorrido	CMDF CMDV KMT	(CMDF+CMDV)/SUMA(KMT)	Indicador que asocia los costes directos por kilómetro recorrido	Dependiendo del tipo de vehículo y la actividad	Es un indicador que recoge el nivel de actividad

Tabla 73. Indicadores Económicos (VII)

INDICADORES ECONÓMICOS						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
CDFK	Costes directos fijos por kilómetro recorrido	CMAM CMFI CMPR CMSG CMIM CMFO CMDT KMT	CMDF/SUMA(KMT)	Indicador que permite comparar el nivel de gasto fijo respecto al variable	Dependiendo del tipo de flota y la actividad	Es un indicador que recoge el impacto en el gasto de los costes fijos respecto al nivel de actividad
CDVK	Costes directos variables por kilómetro recorrido	LTC PRL NNE CNM DNM KMT CMT CRP	CMDV/SUMA(KMT)	Indicador que considera el nivel de actividad de la empresa (km)	Dependiendo del tipo de vehículo y la actividad, deben darse valores inferiores a 0,7 €/km en largas distancias	Es un indicador que recoge el nivel de actividad por lo que es útil a medio plazo en periodos con demanda estacional

Tabla 74. Indicadores Económicos (VIII)

INDICADORES ECONÓMICOS						
CODIGO	INDICADOR	DATOS	CALCULO	JUSTIFICACION	VALORES	CONCLUSIONES
CDVH	Costes directos variables por hora trabajada	LTC PRL NNE CNM KMT CMT CRP HRT	$CMDV/SUMA(HRT)$	Indicador que considera el nivel de actividad de la empresa (horas)	Dependiendo del tipo de vehículo y la actividad, deben darse valores inferiores a 80€/hora en largas distancias	Es un indicador que recoge el nivel de actividad por lo que es útil a medio plazo en periodos con demanda estacional
CDHR	Costes directos por hora trabajada	CMDF CMDV HRT	$(CMDF+CMDV)/SUMA(HRT)$	Indicador que asocia los costes directos por hora de trabajo	Dependiendo de jornadas de trabajo y actividad	Es un indicador que recoge el nivel de actividad

Tabla 75. Indicadores Económicos (IX)

Donde:

- *LTC*: Litros de combustible consumidos.
- *KMT*: Kilómetros recorridos.
- *PRL*: Precio medio del litro del combustible.
- *LTC-Gas*: Litros de gasolina consumidos.
- *KMT-Gas*: Km recorridos gasolina.
- *PRL-Gas*: Precio medio del litro de gasolina.
- *LTC-BE*: Litros de bioetanol consumidos.
- *KMT-BE*: Km recorridos bioetanol.
- *PRL-BE*: Precio medio del litro de bioetanol.
- *LTC-Die*: Litros de diesel consumidos.
- *KMT-Die*: Km recorridos diesel.
- *PRL-Die*: Precio medio del litro de diesel.
- *LTC-BD*: Litros de biodiesel consumidos.
- *KMT-BD*: Km recorridos biodiesel.
- *PRL-BD*: Precio medio del litro de biodiesel.
- *LTC-GN*: Nm³ de Gas Natural consumidos.
- *KMT-GN*: Km recorridos Gas Natural.
- *PRL-GN*: Precio medio del Nm³ de gas natural.
- *LTC-GLP*: Litros de GLP consumidos.
- *KMT-GLP*: Km recorridos GLP.
- *PRL-GLP*: Precio medio del litro de GLP.
- *LTC-VE*: kWh de electricidad consumidos.
- *KMT-VE*: Km recorridos VE.
- *PRL-VE*: Precio medio del kWh.
- *LTC-H2*: kg de hidrógeno consumidos.
- *KMT-H2*: Km recorridos hidrógeno.
- *PRL-H2*: Precio medio del kg de hidrógeno.
- *NNE*: Número de neumáticos.
- *CNM*: Coste de cada neumático.
- *CMT*: Costes de mantenimiento.
- *DNM*: Duración media de cada neumático.
- *CRP*: Costes de reparaciones.

- *HRT*: Horas trabajadas.
- *CIM*: Costes totales anuales de impuestos.
- *CSG*: Costes totales anuales de seguros.
- *CPF*: Capital financiado de cada vehículo.
- *PFI*: Periodo de financiación de cada vehículo.
- *IFI*: Interés financiación de cada vehículo.
- *VDU*: Vida útil prevista.
- *PRC*: Precio de compra.
- *PRR*: Valor residual previsto.
- *CPJ*: Costes de peajes.
- *CFO*: Costes totales anuales en formación.
- *CDT*: Costes totales anuales en dispositivos telemáticos.
- *PLS*: Costes de dietas y pluses.
- *CTC*: Costes anuales del conductor (incluyendo seguros sociales).

5. APLICACIÓN Y VALIDACIÓN

5.1. Introducción

Para la validación de la metodología y la herramienta desarrollada en el presente Proyecto Fin de Carrera, se van a aplicar a una flota real de vehículos, a la cual se le ha realizado una Auditoría Energética Real, y se van a comparar los resultados reales con los resultados obtenidos con la aplicación de la herramienta desarrollada empleando la metodología de cálculo de Inventarios Energéticos y Medioambientales. Además, se van a estimar los impactos que tendría el llevar a cabo un cierto número de medidas de mejora, y se compararán dichos resultados con los ahorros reales que ha supuesto en la práctica la incorporación de algunas de dichas medidas en la flota.

Por ello, el primer paso va a consistir en la descripción de la flota objetivo, que es la flota de recogida de residuos sólidos urbanos (RSU) del municipio de Alcalá de Guadaíra de la provincia de Sevilla, perteneciente a la Mancomunidad de Los Alcores.



Fig 87. *Ámbito territorial de la Mancomunidad de Los Alcores*

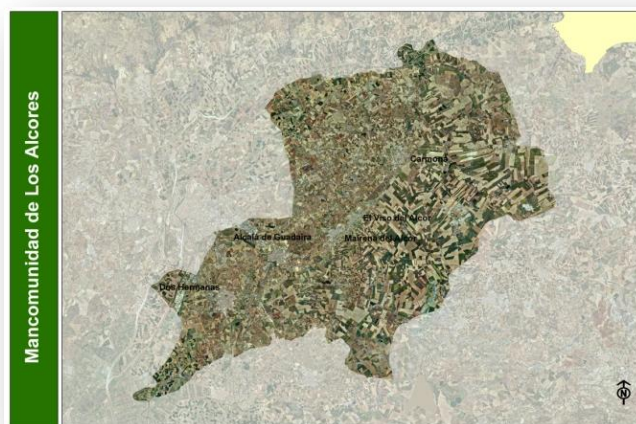


Fig 88. *Ámbito territorial de la Mancomunidad de Los Alcores (II)*

A continuación, se realiza el cálculo del inventario energético y medioambiental para la situación actual de la flota y para su situación tendencial, empleando la metodología diseñada en el presente Proyecto Fin de Carrera. Dichos resultados se validan con el inventario energético y medioambiental realizado en la Auditoría Energética de la Flota de Vehículos de la Mancomunidad de Los Alcores, datos que servirán de comparativa y validación, aunque sólo para los datos de consumo energético y emisiones de CO₂, ya que como se ha comentado a lo largo del documento las Auditorías Energéticas actuales únicamente consideran dichos parámetros en su componente ambiental, y no llegan al elevado nivel de detalle que se propone en este Proyecto Fin de Carrera.

Por último, se incluye el cálculo del impacto de implantación de diferentes medidas de mejora en la flota de vehículos, empleando la metodología desarrollada y diseñada en el presente Proyecto Fin de Carrera. Además, se han podido validar los métodos de cálculo, ya que se ha dispuesto de datos reales de la Mancomunidad de Los Alcores para la puesta en marcha real de algunas de las medidas de actuación, si bien, los cálculos reales de los que se disponen para la comparativa se refieren únicamente al consumo de combustible y a las emisiones de GEI, sin entrar en el alto nivel de detalle de la metodología propuesta. Sin embargo, cobran especial interés, ya que han permitido la validación de los métodos propuestos, mediante el cálculo del margen de error de los mismos.

Cabe resaltar que todos los datos reales empleados en las comparativas para la validación han sido obtenidos de la Auditoría Energética realizada a la Mancomunidad Los Alcores, y facilitados por esta última.

5.2. Caracterización de la recogida de RSU de Alcalá de Guadaíra

5.2.1. Consideraciones Previas

A continuación se exponen una serie de consideraciones generales del servicio de recogida:

- La recogida de residuos en el municipio de Alcalá de Guadaíra es gestionada por la Mancomunidad de Los Alcores, tanto para la recogida de residuos orgánicos como para la recogida de residuos selectivos: envases; papel y cartón.
- La tasa de generación de residuos (que viene definida a través de la tasa de recogida, mostrada en la siguiente tabla) exige que la frecuencia de recogida para envases y cartón sea igual o superior a 1 recogida a la semana.
- La recogida de residuos orgánicos exige que las rutas se realicen diariamente, por lo que la disponibilidad de vehículos tiene que estar sobradamente garantizada.

Toneladas de residuos recogidas por municipio durante el año 2011			
Municipio	Toneladas orgánica	Toneladas papel-cartón	Toneladas envases ligeros
Alcalá de Guadaíra	33.904,77	1.145,81	851,18

Tabla 76. Toneladas de residuos recogidas en Alcalá de Guadaira durante el año 2011.

- El hecho de que haya diferentes tipos de contenedores para un mismo residuo condiciona el servicio en la medida en que será necesario disponer de distintos tipos de vehículos según sea el sistema de recogida necesario.
- Se precisan de varias rutas de recogida para cada tipo de residuo debido a la extensión y población de su término municipal.
- El hecho de que un mismo camión pueda recoger varios tipos de residuos ofrece la posibilidad de poder utilizarlo para varias rutas de recogida de distintos tipos de residuos.
- Los turnos de trabajo simultáneos (mismas horas de recogida para distintas rutas) impone la simultaneidad en el uso de los vehículos.
- En cuanto a la logística de los repostajes, los camiones de la Mancomunidad repostan en estación de servicio, mediante una tarjeta individualizada por vehículo. Dicho repostaje se realiza cada día que un vehículo realiza un servicio, en horario diurno, bien por el propio conductor o bien por el personal de mantenimiento y lavado de vehículos.
- No se controla el consumo por conductor, ni los Km recorridos entre repostajes, sino que en el informe diario de servicio se indica la cantidad de gasóleo repostada (si se ha repostado), y en el informe mensual el consumo mensual de combustible reflejado en la factura del proveedor (por vehículo).

5.2.2. Flota de Vehículos

A continuación, se muestra la flota de vehículos de la Mancomunidad de Los Alcores, que presta servicios, además de en Alcalá de Guadaíra, en los municipios de Dos Hermanas, Carmona, Mairena del Alcor y El Viso del Alcor:

CARACTERIZACIÓN DE LA FLOTA DE VEHÍCULOS DE LA MANCOMUNIDAD						
MATRÍCULA (MODELO)	AÑOS	NORMA EURO	TARA (KG)	MMA (KG)	TIPO DE RESIDUO	SISTEMA DE RECOGIDA
SE-6223-CD (RENAULT M180)	18	I	8.170	13.500	Papel y Cartón	Trasera
4470-BDV (IVECO 180E29)	11	III	8.380	18.000	Papel y Cartón	Superior
3674-CCW (IVECO 180E30)	10	III	12.185	18.000	Papel y Cartón	Superior
6432-CGZ (VOLVO FM962)	9	III	16.475	26.000	Orgánica	Lateral
1869-CHX (VOLVO FM962)	9	III	16.475	26.000	Orgánica	Lateral
2860-CWC (IVECO 180E30)	8	III	10.795	18.000	Orgánica	Trasera
9595-DTZ (IVECO 350)	7	III	15.970	26.000	Envases	Lateral
9255-FZV (RENAULT 320)	4	IV	15.980	26.000	Orgánica	Lateral
5381-GCB (RENAULT 240)	4	IV	10.180	16.000	Orgánica Envases	Trasera
5497-GDW (IVECO 310)	4	IV	12.140	20.000	Orgánica	Lateral
5010-GDW (RENAULT 320)	4	IV	13.680	26.000	Orgánica	Trasera

Tabla 77. *Tabla de vehículos de RSU de la Mancomunidad Los Alcores*

CARACTERIZACIÓN DE LA FLOTA DE VEHÍCULOS DE LA MANCOMUNIDAD						
MATRÍCULA (MODELO)	AÑOS	NORMA EURO	TARA (KG)	MMA (KG)	TIPO DE RESIDUO	SISTEMA DE RECOGIDA
3569-GKL (MERCEDES 1829LL)	3	V	12.380	18.000	Orgánica	Trasera
1813-GNC (IVECO 13811072)	3	V	13.230	26.000	Papel y Cartón	Superior
2814-GTZ (IVECO E2NP00)	2	V	19.800	26.000	Orgánica	Bilateral
8866-GWC (IVECO E2NP00)	2	V	19.800	26.000	Orgánica Envases	Bilateral

Tabla 78. *Tabla de vehículos de RSU de la Mancomunidad Los Alcores (II)*

5.2.3. Rutas de Recogida de RSU

A continuación, se analizan las rutas de recogida de RSU llevadas a cabo en el ámbito del municipio de Alcalá de Guadaíra, considerando por un lado las rutas de recogida selectiva de residuos, donde se incluyen envases, papel y cartón, y por otro lado las rutas de recogida no selectiva, donde se incluyen los residuos orgánicos principalmente.

RUTAS DE RECOGIDA SELECTIVA

Cabe resaltar, que la recogida de residuos de forma selectiva se lleva a cabo en todos los municipios de la Mancomunidad, por lo que hay rutas que no son exclusivas del municipio de Alcalá de Guadaíra. A continuación, se indican las características generales de las rutas de recogida:

- El primer aspecto a destacar es que se trata de municipios en general de gran tamaño, con poblaciones que superan los 20.000 habitantes, especialmente en el caso de Alcalá de Guadaíra (72.800 habitantes), por lo que se tiene una distribución de puntos y rutas compleja a nivel operativo. Esto provoca que las rutas no sean fijas, sino que puedan variar en función de la planificación temporal diaria y semanal. Además, en ocasiones, el tiempo de recogida de cada batería no solo depende del número de contenedores que tenga, sino también de su tasa de llenado, habitualmente conocida por parte de los conductores en base a su experiencia desempeñando el servicio, así como de la cantidad de residuos existentes fuera de los contenedores, lo que hace que el tiempo acumulado para una misma ruta pueda oscilar mucho de un día para otro, y por tanto afectando a la extensión de ésta.

- Hay una importante variabilidad de tipos de contenedores y por tanto de sistemas de recogida, especialmente en lo que respecta a envases, por lo que las rutas en muchos casos no son las óptimas, ya que se necesitan distintos tipos de camiones para recoger los diversos tipos de contenedores, por lo que los consumos energéticos y emisiones contaminantes de los camiones van a depender de manera destacada del emplazamiento de los contenedores de cada tipo, es decir, son necesarias varias rutas para cubrir una misma zona donde haya contenedores de varios tipos. En el caso del papel y cartón, la mayor parte de los contenedores son de recogida superior (comúnmente llamados de “tipo iglú”), por lo que no suele darse este problema salvo casos muy puntuales. Sin embargo, la recogida de envases cuenta con diferentes tipos de contenedores según el municipio servido. Tal es el caso de Alcalá de Guadaíra, donde coexisten los sistemas de recogida de envases de carga lateral, bilateral y trasera.
- En el caso de las urbanizaciones y diseminado de Alcalá de Guadaíra se está en proceso de re-contenerización de carga trasera a carga lateral.
- Otro aspecto muy importante es el mal estado general de los vehículos. Pese a que en líneas generales no son muy antiguos (9 camiones de menos de 8 años de antigüedad), muchos de ellos suelen tener problemas mecánicos, especialmente en el sistema de recogida de contenedores. Además, se tienen 5 camiones con más de 8 años de uso y son habituales sus problemas mecánicos a nivel de vehículo. Estos problemas condicionan la planificación semanal y con ello la realización de las rutas previstas, dificultando alcanzar el óptimo a nivel de longitudes y cobertura, aspectos que a su vez inciden en el consumo energético y emisiones contaminantes. Añadir además, que un mismo camión es utilizado para varias rutas a lo largo del día, por lo que se tiene un uso desmesurado que reduce su vida útil, aspecto que por tanto afecta a más de una ruta.
- Otro factor que influye en el desarrollo de cada ruta de recogida es la afección del tráfico. Esto es común a cualquier servicio, no solo el de esta Mancomunidad, pero no deja de ser un elemento que afecta al consumo energético de la flota de vehículos. Sin embargo, la planificación temporal de las rutas puede influir en ello, ya que aquellas rutas que coinciden con entrada/salida de escolares de los colegios tienen que cambiar su recorrido en dichas horas para evitar el conflicto con los coches en las zonas próximas, lo cual aumenta la longitud de las rutas y por tanto el consumo energético asociado.
- Asimismo, otro factor desfavorable detectado, a nivel de contenerización, es la existencia en una misma batería o isla de varios contenedores de recogida trasera, de 800 litros de capacidad, en lugar de un contenedor de recogida lateral o superior de mayor capacidad (2.400-3.000 litros). Esto a nivel de recogida selectiva, sobre todo de envases, alarga la realización de la ruta, pues se tienen que recoger 3 ó 4 contenedores pequeños en lugar de uno mayor en un mismo punto de recogida. En estos casos, al tratarse de envases ligeros, un aumento de la capacidad a través de número de contenedores no supone un incremento de la tasa de recogida, mientras que con un contenedor de mayor capacidad, aunque la tasa de llenado no mejore, la frecuencia de su recogida sí puede reducirse, permitiendo reducir las rutas o reducir el tiempo empleado en realizarlas.

- Las rutas y las características de la recogida de envases para el municipio de Alcalá de Guadaíra son las siguientes:

Rutas de recogida de Envases en Alcalá de Guadaíra					
Denominación de Ruta	Vehículo	Tipo de recogida	Horarios	Frecuencia	
Ruta A1E	Alcalá de Guadaíra Norte	9595-DTZ	Lateral	06 - 13 h	2/semana
Ruta A2E	Alcalá de Guadaíra Sur	9595-DTZ	Lateral	06 - 13 h	2/semana
Ruta A3E	Alcalá de Guadaíra casco	8866-GWC	Bilateral	06 - 13 h	2/semana
Ruta A4E	Alcalá de Guadaíra-Mairena del Alcor	5381-GCB	Trasera	07 - 14 h	2/semana
Ruta A5E	Alcalá de Guadaíra Urbanizaciones	9595-DTZ	Lateral	06 - 13 h	2/semana

Tabla 79. Rutas de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra

Características de las rutas de recogida de Envases en Alcalá de Guadaíra					
Ruta	Longitud trama urbana (km)	Longitud total (km)	Número de Baterías	Velocidad Urbana (km/h)	Velocidad Media Total (km/h)
Ruta A1E	22,44	111,85	74	6,31	21,10
Ruta A2E	40,11	104,31	87	8,69	16,05
Ruta A3E	21,59	74,19	68	5,42	14,84
Ruta A4E	16,86	18,92	39	10,22	11,00
Ruta A5E	165,50	165,50	39	26,13	26,20

Tabla 80. Características de las rutas de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra

- Las rutas y las características de la recogida de papel y cartón para el municipio de Alcalá de Guadaíra son las siguientes:

Rutas de recogida de Papel y Cartón en Alcalá de Guadaíra					
Denominación de Ruta	Vehículo	Tipo de recogida	Horarios	Frecuencia	
Ruta A1.1P	4470-BDV	Superior	06 - 13 h	2/semana	Alcalá de G. Norte
Ruta A1.2P					
Ruta A2.1P	3674-CCW	Superior	06 - 13 h	2/semana	Alcalá de G. Sur
Ruta A2.2P					
Ruta A3P	3674-CCW	Superior	06 - 13 h	2/semana	Urbanizaciones

Tabla 81. Rutas de recogida de papel y cartón en el municipio de Alcalá de Guadaíra

Características de las rutas de recogida de Papel y Cartón en Alcalá de Guadaíra					
Ruta	Longitud trama urbana (km)	Longitud total (km)	Número de Baterías	Velocidad Urbana (km/h)	Velocidad Media Total (km/h)
Ruta A1.1P	20,27	64,82	42	10,05	16,98
Ruta A1.2P	14,60	74,40	30	12,33	21,57
Ruta A2.1P	16,38	63	40	8,72	15,02
Ruta A2.2P	26,71	72,2	43	10,58	17,13
Ruta A3P	21,07	70,23	37	10,33	16,83

Tabla 82. Características de las rutas de recogida de papel y cartón en el municipio de Alcalá de Guadaíra

RUTAS DE RECOGIDA ORGÁNICA:

La gestión y recogida de los residuos orgánicos en Alcalá de Guadaíra es realizada por la Mancomunidad de Los Alcores. A continuación, se indican las características generales de las rutas de recogida:

- En el caso de Alcalá de Guadaíra se tienen un total de 5 rutas con tres tipos de sistemas de recogida diferentes (trasera, lateral y bilateral), combinándose en casi todas ellas recogida en casco urbano y recogida en urbanizaciones. En estas últimas la recogida suele realizarse en días alternos, mientras que en el caso del casco urbano la recogida es diaria.
- En Alcalá de Guadaíra el sector de los recorridos de recogida de la fracción orgánica de RSU que discurre por las urbanizaciones consta de dos tramos, que se realizan de forma alternativa cada dos días, de forma que cada dos días son recogidas todas las urbanizaciones de dichos municipios. Además, cada semana

se invierte el orden de estos tramos para que en el horizonte de dos semanas hayan sido recogidas todas las urbanizaciones el mismo número de días. En la tabla se muestra esta planificación:

Frecuencia de recogida en el sector urbanizaciones					
Tramo 1	Tramo 2	Frec. Sem. 1 tramo 1	Frec. Sem. 1 tramo 2	Frec. Sem. 2 tramo 1	Frec. Sem. 2 tramo 2
G. La Retama	H. La Boticaria	L, X, V, D	M, J, S	M, J, S	L, X, V, D
Reto II	La Galbana				
Vta. Carmelilla	Siglo XXI				
Afar	La Alegría				
Reto I	El Magistrado				
Alcalá BUS	ITV				
Hda. La Estrella	Hda. La Andrada				
El Regidor	Vta. Tomás				
Torrequinto	Santa Cecilia				
Eucaliptal	Pinos Nevero				
H. Alkalat	Mateo Pablo				
	Bomberos				
	Montecarmelo				

Tabla 83. Frecuencia de los recorridos de recogida de residuos orgánicos en urbanizaciones de Alcalá de Guadaíra

- La ruta de recogida trasera realiza un cambio de vehículo, pues para penetrar en las zonas más céntricas (casco antiguo) es necesario utilizar un vehículo de menores dimensiones para realizar allí la recogida.
- En todos los casos se entregan los residuos en la planta de recuperación y compostaje Montemarta-Cónica.

Planta de Recuperación y Compostaje Montemarta- Cónica. Alcalá de Guadaíra	
	<u>Emplazamiento</u> : Vereda de la Armada s/n - Carretera de Don Rodrigo - Alcalá de Guadaíra - Sevilla
	<u>Tipo de planta</u> : PRC con Planta de Reciclaje y vertedero de apoyo
	Mayor Centro de Tratamiento de Residuos Urbanos de Andalucía
	<u>Stock de Compost</u> (Toneladas): 1.200 Tm/ día
	<u>Materias primas</u> : Fracción orgánica de residuos urbanos

Tabla 84. Características de la Planta de Recuperación y Compostaje de Montemarta-Cónica

- La recogida en las urbanizaciones se realiza en general a través de carreteras en deficientes condiciones de firme, muchas de ellas son caminos de tierra con multitud de baches y deformaciones que dificultan la marcha de los vehículos. La consecuencia es un aumento de los consumos de combustible y emisiones

asociadas, un aumento de los tiempos de viaje y una reducción de la vida útil del vehículo.

- En la recogida en las urbanizaciones, los recorridos en algunos casos son excesivamente extensos, consecuencia de una recogida en algunos momentos caótica, pues se dan excesivos rodeos para recoger un determinado sector. Es el caso de las urbanizaciones situadas en el entorno de la carretera A-376 (autovía de Utrera), donde en ocasiones la recogida de urbanizaciones como Sevilla Golf, Torrequinto, La Jabonera o La Alegría se realiza de forma desordenada, dejando pasar baterías de camino a una urbanización para luego volver a pasar por delante para recogerlas. En otros casos, los tiempos en algunas paradas son excesivos, con el fin de que la ruta no concluya antes del fin de la jornada laboral. Estas paradas, con el motor en marcha, no hacen sino incrementar los consumos energéticos y emisiones contaminantes. Se trata de malos hábitos por parte de algunos conductores que afectan al impacto energético y ambiental del servicio. En conclusión, la recogida en las urbanizaciones de Alcalá de Guadaíra puede considerarse muy descontrolada.
- Pese a que las rutas de recogida de residuos se consideran fijas, en muchas ocasiones se recoge en urbanizaciones que no pertenecen a la ruta en curso, a veces por arrastre de planificación o bien llevar adelanto sobre el horario de la misma. Esto provoca que la ruta no sea en la práctica fija, de modo que se aleja del óptimo de funcionamiento que pueda haber hasta ahora fijado o preestablecido.
- Respecto a la contenerización, se tienen contenedores soterrados en el casco urbano principal (recogida bilateral), contenedores de recogida lateral (Alcalá de Guadaíra y algunas de sus urbanizaciones) y contenedores de recogida trasera (casco urbano y urbanizaciones), por lo que se tienen rutas dependientes del sistema de recogida, provocando que haya zonas recorridas en varias ocasiones para rutas distintas.
- Un problema destacado en la recogida que realiza la Mancomunidad es el mal estado general de los vehículos. Dado que un mismo vehículo habitualmente se utiliza para la recogida selectiva y para la recogida de residuos orgánicos (para un mismo sistema de recogida, normalmente lateral), el excesivo uso de los mismos provoca con mucha frecuencia que las planificaciones semanales del servicio tengan que ser modificadas constantemente, situación que se aleja de la regularidad, lo que acarrea servicios muy cambiantes que por tanto, se alejan del óptimo actual de funcionamiento. Este mal estado de los vehículos también se ve incrementado por los hábitos de algunos conductores, que a veces, cuando se lleva cierto retraso acumulado, conducen de forma muy agresiva, o bien porque cargan en exceso el camión, lo que genera problemas en el sistema de prensado del vehículo, reduciendo de este modo su disponibilidad.
- Respecto a la contenerización, también sucede que en los lugares donde se tienen contenedores de recogida trasera, los tiempos de recogida son mayores respecto al sistema lateral o bilateral dado que se necesitan más contenedores para disponer de un mismo volumen, por lo que las rutas de recogida trasera tienen un menor ratio kilos recogidos/tiempo de ruta.

- Las rutas y las características de la recogida de residuos orgánicos para el municipio de Alcalá de Guadaíra son las siguientes:

Rutas de recogida de Orgánica en Alcalá de Guadaíra					
	Denominación de Ruta	Vehículo	Tipo de recogida	Horarios	Frecuencia
Ruta A1O	Alcalá de Guadaíra Norte	6432-CGZ	Lateral	23 - 05 h	Diaria
Ruta A2O	Alcalá de Guadaíra Sur	1869-CHX	Lateral	23 - 05 h	Diaria
Ruta A3O	Alcalá de Guadaíra diurna	9255-FZV	Lateral	06 - 13 h	Diaria
Ruta A4O	Alcalá de Guadaíra	2814-GTZ	Bilateral	23 - 05 h	Diaria
Ruta A5O	Alcalá de Guadaíra Centro-Urbanizaciones	2860-CWC / 5010-GDW	Trasera	23 - 05 h	Diaria

Tabla 85. Rutas de recogida de orgánica en el municipio de Alcalá de Guadaíra

Características de las rutas de recogida de Orgánica en Alcalá de Guadaíra					
Ruta	Longitud trama urbana (km)	Longitud total (km)	Número de Baterías	Velocidad Urbana (km/h)	Velocidad Media Total (km/h)
Ruta A1O	28,36	127,66	81	6,45	20,15
Ruta A2O	21,93	139,23	48	10,12	28,22
Ruta A3O	37,18	118,98	65	10,57	19,03
Ruta A4O	27,26	108,15	70	6,06	18,16
Ruta A5O	107,48	182,91	143	9,13	21,33

Tabla 86. Características de las rutas de recogida de orgánica en el municipio de Alcalá de Guadaíra

5.3. Cálculo de Inventarios Energéticos y Medioambientales

5.3.1. Inventario Energético y Medioambiental Actual

Para poder aplicar la herramienta creada a partir de la metodología desarrollada en el presente Proyecto Fin de Carrera se introducen los datos extraídos de las tablas anteriores en las rutas de recogidas para caracterizar la flota por tipo de recogida.

En primer lugar, se realiza la caracterización de la flota, en la que hay que incluir número de vehículos de cada tipo, velocidad media, distancia recorrida total, tipo de conducción (% urbana, %rural y % carretera) y carga.

A continuación, se citan las consideraciones a tener en cuenta para la caracterización de la flota.

- De tablas anteriores se tiene el número de vehículos y tipo, su velocidad media y la distancia recorrida total. Estos datos se introducen directamente en la caracterización. Excepto la distancia recorrida, que hay que tener en cuenta la frecuencia con que se realiza la operación, es decir, al conocer la frecuencia semanal en que se recogen cada tipo de residuos, considerando que 1 año se divide en 52 semanas, se multiplica la distancia recorrida por este factor y la frecuencia semanal y se introduce ese valor como distancia recorrida total al año para obtener el inventario anual.
- Para determinar el tipo de conducción, al disponer de los kilómetros realizados totales y en urbano, se realiza una regla de tres, considerando los totales como el 100%, se obtiene así el % de conducción urbana y el % de conducción por carretera, se considera que el % de conducción rural es nulo, ya que no hay rutas que transiten por carreteras rurales.
- Para la estimación de la carga de cada tipo de recogida de RSU se considera un 60% para envases, un 50% para papel y cartón y un 80% para residuos orgánicos. Se han considerado estos valores porque la recogida orgánica es la de mayor peso y densidad y la que presenta una mejor optimización de llenado en los camiones, ya que la deposición de este tipo de residuos es muy constante en la población, de ahí a que se considere la carga mayor. En la recogida selectiva (envases y papel y cartón) se toma una carga menor debido a que no se produce tanto de estos residuos como en el caso de recogida orgánica, y presentan una tasa de llenado de contenedores muy fluctuante. A los vehículos de recogida de envases se les considera un poco más de carga ya que el peso de envases es lógico que sea mayor que el de papel y cartón, aunque el volumen no lo sea, en la carga se tiene en cuenta la masa del vehículo y no el volumen que ocupe su carga.
- Cuando un mismo vehículo realiza más de una ruta, o se tienen dos vehículos del mismo tipo, para caracterizarlos se hace de forma separada, ya que se tienen velocidades medias y distancia recorrida diferentes que al unirlos conduce a un mayor error, por lo que se caracterizan en hojas separadas y para obtener el consumo energético y las emisiones contaminantes se suman los resultados obtenidos de cada ruta por separado. Se podría hacer de manera conjunta,

realizando media ponderada de tipo de conducción y velocidades, y sumando las distancias recorridas, pero se comete un mayor error de cálculo.

- Comentar también que cuando la MMA (Masa Máxima Autorizada) coincide con un límite de la clasificación de vehículos, por ejemplo, cuando MMA es 26 Tn y la clasificación de vehículos distingue entre vehículos 20-26 Tn y 26-28 Tn, se toma la primera clasificación, ya que al ser 26 la masa máxima autorizada corresponde al límite superior.
- En el caso de que una ruta sea realizada por más de un vehículo, sólo se considera uno de ellos para el cálculo del Inventario, pues significa que unas veces es un vehículo el que realiza la ruta y en otras ocasiones el otro. Se considera el vehículo que de cómo resultados unos valores más desfavorables, porque así se asegura que el otro vehículo cumpla con el margen de error. En este caso el vehículo más desfavorable es el más antiguo de los dos.

RECOGIDA SELECTIVA

Envases

La caracterización realizada en la herramienta de la flota para este tipo de recogida en el municipio de Alcalá de Guadaíra se ha realizado en tres partes, al tener vehículos del mismo tipo, para no mezclar velocidades y distancia recorrida medias. Para obtener el inventario total de recogida de envases se suma el consumo energético y emisiones contaminantes de cada una de las tres caracterizaciones realizadas.

Dichas caracterizaciones son las siguientes:

- Caracterización 1: rutas: A1E, A3E y A4O.

Vehículos pesados - Diesel RÍGIDOS			Servicio		Conducción [%]			
Tn	Norma EURO	Nº Vehículos	Velocidad media	Distancia recorrida	Urbano	Rural	Carretera	Carga [%]
14 - 20 Tn	EURO I	1	11 Km/h	1967,68 Km	89%	0%	11%	60%
	EURO II							
	EURO III							
	EURO IV							
	EURO V							
20 - 26 Tn	EURO VI	1	21,1 Km/h	11632,4 Km	20%	0%	80%	60%
	EURO I							
	EURO II							
	EURO III							
	EURO IV							
	EURO V	1	14,84 Km/h	7715,76 Km	29%	0%	71%	60%
	EURO VI							

Fig 89. Caracterización 1 herramienta EXCEL flota de vehículos recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra

Diseño de una Metodología para la Estimación de Consumo Energético y Emisiones Contaminantes en Flotas de Transporte por Carretera

- Caracterización 2: ruta A2E.

Vehículos pesados - Diesel RÍGIDOS			Servicio		Conducción [%]			Carga [%]
Tn	Norma EURO	Nº Vehículos	Velocidad media	Distancia recorrida	Urbano	Rural	Carretera	
20 - 26 Tn	EURO I	1	16,05 Km/h	10848,24 Km	38%	0%	62%	60%
	EURO II							
	EURO III							
	EURO IV							
	EURO V							
	EURO VI							

Fig 90. Caracterización 2 herramienta EXCEL flota de vehículos recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra

- Caracterización 3: ruta A5E.

Vehículos pesados - Diesel RÍGIDOS			Servicio		Conducción [%]			Carga [%]
Tn	Norma EURO	Nº Vehículos	Velocidad media	Distancia recorrida	Urbano	Rural	Carretera	
20 - 26 Tn	EURO I	1	26,2 Km/h	17212 Km	100%	0%	0%	60%
	EURO II							
	EURO III							
	EURO IV							
	EURO V							
	EURO VI							

Fig 91. Caracterización 3 herramienta EXCEL flota de vehículos recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra

Con esta caracterización, la herramienta diseñada en el presente Proyecto Fin de Carrera calcula el Inventario Energético y Medioambiental actual de la flota de recogida de envases para cada caracterización que se realiza.

Estos Inventarios son los siguientes:

- Caracterización 1: rutas: A1E, A3E y A4O.

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		Consumo Energético			
		Masa Cble	Volumen Cble	μ [l/100 Km]	MWh
GASOLINA	Ligeros / Pesados	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km	0,0 MWh
	DIESEL	Ligeros	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km
	Pesados - Rígidos	8.525,4 Kg cble	10.029,9 L	47,5 l/100 Km	74,3 MWh
	Pesados - Articados	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km	0,0 MWh

Fig 92. Inventario Energético de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 1

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		GEI	
		CO ₂	CH ₄
GASOLINA	Ligeros / Pesados	0,0 Kg	0,000 Kg
	Ligeros	0,0 Kg	0,000 Kg
DIESEL	Pesados - Rígidos	26.747,0 Kg	0,866 Kg
	Pesados - Articulados	0,0 Kg	0,000 Kg

Fig 93. Inventario Medioambiental de emisiones de GEI de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 1

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		Emisiones Contaminantes									
		CO	NO _x	COV	PM	Metales Pesados					
GASOLINA	Ligeros / Pesados	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn
	Ligeros	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn
DIESEL	Pesados - Rígidos	42,013 Kg	172,356 Kg	9,396 Kg	4,363 Kg	85,254 mg Cd	14.493,14 mg Cu	426,27 mg Cr	596,78 mg Ni	85,25 mg Se	8.525,37 mg Zn
	Pesados - Articulados	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn

Fig 94. Inventario Medioambiental de emisiones de Contaminantes Primarios de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 1

Consumo	10.029,9 L cble
Rendimiento	47,5 l/100 Km
GEI	26,747 Tn CO2

Fig 95. Resumen Inventario Energético y Medioambiental de la flota de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 1

- Caracterización 2: ruta A2E.

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		Consumo Energético			
		Masa Cble	Volumen Cble	μ [l/100 Km]	MWh
GASOLINA	Ligeros / Pesados	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km	0,0 MWh
DIESEL	Ligeros	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km	0,0 MWh
	Pesados - Rígidos	4.694,6 Kg cble	5.523,1 L	50,9 l/100 Km	40,9 MWh
	Pesados - Articulados	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km	0,0 MWh

Fig 96. Inventario Energético de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 2

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		GEI	
		CO ₂	CH ₄
GASOLINA	Ligeros / Pesados	0,0 Kg	0,000 Kg
DIESEL	Ligeros	0,0 Kg	0,000 Kg
	Pesados - Rígidos	14.727,4 Kg	0,832 Kg
	Pesados - Articulados	0,0 Kg	0,000 Kg

Fig 97. Inventario Medioambiental de emisiones de GEI de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 2

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		Emisiones Contaminantes									
		CO	NO _x	COV	PM	Metales Pesados					
GASOLINA	Ligeros / Pesados	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn
DIESEL	Ligeros	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn
	Pesados - Rígidos	45,246 Kg	134,842 Kg	10,754 Kg	4,199 Kg	46,946 mg Cd	7.980,87 mg Cu	234,73 mg Cr	328,62 mg Ni	46,95 mg Se	4.694,63 mg Zn
	Pesados - Articulados	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn

Fig 98. Inventario Medioambiental de emisiones de Contaminantes Primarios de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 2

Consumo	5.523,1 L cble
Rendimiento	50,9 l/100 Km
GEI	14,727 Tn CO2

Fig 99. Resumen Inventario Energético y Medioambiental de la flota de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 2

- Caracterización 3: ruta A5E.

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		Consumo Energético			
		Masa Cble	Volumen Cble	μ [l/100 Km]	MWh
GASOLINA	<i>Ligeros / Pesados</i>	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km	0,0 MWh
DIESEL	<i>Ligeros</i>	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km	0,0 MWh
	<i>Pesados - Rígidos</i>	5.848,6 Kg cble	6.880,7 L	40,0 l/100 Km	51,0 MWh
	<i>Pesados - Articulados</i>	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km	0,0 MWh

Fig 100. Inventario Energético de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 3

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		GEI	
		CO ₂	CH ₄
GASOLINA	<i>Ligeros / Pesados</i>	0,0 Kg	0,000 Kg
DIESEL	<i>Ligeros</i>	0,0 Kg	0,000 Kg
	<i>Pesados - Rígidos</i>	18.348,1 Kg	1,687 Kg
	<i>Pesados - Articulados</i>	0,0 Kg	0,000 Kg

Fig 101. Inventario Medioambiental de emisiones de GEI de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 3

Diseño de una Metodología para la Estimación de Consumo Energético y Emisiones Contaminantes en Flotas de Transporte por Carretera

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		Emisiones Contaminantes									
		CO	NO _x	COV	PM	Metales Pesados					
GASOLINA	Ligeros / Pesados	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn
	DIESEL	Ligeros	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se
	Pesados - Rígidos	47,873 Kg	164,268 Kg	10,520 Kg	4,301 Kg	58,486 mg Cd	9,942,63 mg Cu	292,43 mg Cr	409,40 mg Ni	58,49 mg Se	5,848,61 mg Zn
	Pesados - Articulado	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn

Fig 102. Inventario Medioambiental de emisiones de Contaminantes Primarios de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 3

Consumo	6.880,7 L cble
Rendimiento	40,0 l/100 Km
GEI	18,348 Tn CO2

Fig 103. Resumen Inventario Energético y Medioambiental de la flota de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 3

- *Inventario Agregado Total para Envases.*

Una vez que se tiene caracterizada la flota de recogida de envases en las tres caracterizaciones consideradas, se ha obtenido el inventario actual agregado, que es el siguiente:

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		Consumo Energético			
		Masa Cble	Volumen Cble	μ [l/100 Km]	MWh
GASOLINA	Ligeros / Pesados	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km	0,0 MWh
	DIESEL	Ligeros	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km
	Pesados - Rígidos	19.068,6 Kg cble	22.433,7 L	45,4 l/100 Km	166,2 MWh
	Pesados - Articulado	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km	0,0 MWh

Fig 104. Inventario Energético de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		GEI	
		CO ₂	CH ₄
GASOLINA	Ligeros / Pesados	0,0 Kg	0,000 Kg
	DIESEL		
	Ligeros	0,0 Kg	0,000 Kg
	Pesados - Rígidos	59.822,5 Kg	3,385 Kg
	Pesados - Articulados	0,0 Kg	0,000 Kg

Fig 105. Inventario Medioambiental de emisiones de GEI de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		Emisiones Contaminantes									
		CO	NO _x	COV	PM	Metales Pesados					
GASOLINA	Ligeros / Pesados	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn
	DIESEL										
	Ligeros	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn
	Pesados - Rígidos	135,132 Kg	471,466 Kg	30,670 Kg	12,863 Kg	190,686 mg Cd	32.416,64 mg Cu	953,43 mg Cr	1.334,80 mg Ni	190,69 mg Se	19.068,61 mg Zn
	Pesados - Articulados	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn

Fig 106. Inventario Medioambiental de emisiones de Contaminantes Primarios de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra

Consumo	22.433,7 L cble
Rendimiento	45,4 l/100 Km
GEI	59,823 Tn CO2

Fig 107. Resumen Inventario Energético y Medioambiental de la flota de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra

Los datos necesarios para la validación únicamente hacen referencia al consumo y a las emisiones de CO₂ ya que son las únicas disponibles de los datos reales de la flota de vehículos, y que nos servirán para validar la metodología diseñada. A continuación, se muestra el consumo energético (TEP/año) y las emisiones de CO₂ (Tn CO₂/año) actual de la flota de recogida de envases:

Inventario Energético y Medioambiental actual		
Municipio	TEP/año	Tn CO₂/año
Alcalá de Guadaíra	20,09	59,82

Tabla 87. *Inventario Energético y Medioambiental actual total de la flota de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra*

Donde para conseguir las Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP), la masa total de combustible, en toneladas, se multiplica por el factor de conversión 1,0534 (TEP/kg). Se hace necesario obtener los TEP debido a que es la unidad de medida empleada en la Mancomunidad Los Alcores.

Papel y Cartón:

Se realiza el mismo procedimiento que para la recogida de envases. En este caso, todas las rutas son recorridas por vehículos del mismo tipo, por lo que se han realizado 5 caracterizaciones, una por cada ruta.

Las caracterizaciones realizadas en este tipo de recogida son las siguientes:

- Caracterización 1: ruta A1.1P.
 - Caracterización 2: ruta A1.2P.
 - Caracterización 3: ruta A2.1P.
 - Caracterización 4: ruta A2.2P.
 - Caracterización 5: ruta A3P.
- *Inventario Agregado Total para Papel y Cartón.*

Los resultados del inventario agregado para las operaciones de Papel y Cartón se resumen en las tablas siguientes:

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		Consumo Energético			
		Masa Cble	Volumen Cble	μ [l/100 Km]	MWh
GASOLINA	<i>Ligeros / Pesados</i>	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km	0,0 MWh
DIESEL	<i>Ligeros</i>	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km	0,0 MWh
	<i>Pesados - Rígidos</i>	11.509,8 Kg cble	13.778,2 L	38,4 l/100 Km	100,3 MWh
	<i>Pesados - Articulados</i>	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km	0,0 MWh

Fig 108. *Inventario Energético de la flota de vehículos de recogida de papel y cartón en el municipio de Alcalá de Guadaíra*

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		GEI	
		CO ₂	CH ₄
GASOLINA	Ligeros / Pesados	0,0 Kg	0,000 Kg
	DIESEL		
	Ligeros	0,0 Kg	0,000 Kg
	Pesados - Rígidos	36.107,2 Kg	2,634 Kg
	Pesados - Articulados	0,0 Kg	0,000 Kg

Fig 109. Inventario Medioambiental de emisiones de GEI de la flota de vehículos de recogida de papel y cartón en el municipio de Alcalá de Guadaíra

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		Emisiones Contaminantes									
		CO	NO _x	COV	PM	Metales Pesados					
GASOLINA	Ligeros / Pesados	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn
	DIESEL										
	Ligeros	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn
	Pesados - Rígidos	109,896 Kg	344,102 Kg	27,250 Kg	10,344 Kg	115,098 mg Cd	19.566,69 mg Cu	575,49 mg Cr	805,69 mg Ni	115,10 mg Se	11.509,82 mg Zn
	Pesados - Articulados	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn

Fig 110. Inventario Medioambiental de emisiones de Contaminantes Primarios de la flota de vehículos de recogida de papel y cartón en el municipio de Alcalá de Guadaíra

Consumo	13.778,2 L cble
Rendimiento	38,4 l/100 Km
GEI	36,107 Tn CO2

Fig 111. Resumen Inventario Energético y Medioambiental de la flota de recogida de papel y cartón en el municipio de Alcalá de Guadaíra

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para la comparativa con los datos reales:

Inventario Energético y Medioambiental actual		
Municipio	TEP/año	Tn CO₂/año
Alcalá de Guadaíra	12,08	36,11

Tabla 88. *Inventario Energético y Medioambiental actual total de la flota de recogida de papel y cartón en el municipio de Alcalá de Guadaíra*

RECOGIDA ORGÁNICA

Se sigue la misma metodología que en la recogida selectiva, en este caso, se realizan las dos caracterizaciones siguientes:

- Caracterización 1: rutas: A1O, A3O y A4O.
- Caracterización 2: rutas: A2O y A5O (vehículo 5010-GDW).
- *Inventario Agregado Total para Orgánica.*

Los resultados del inventario agregado para las operaciones de Orgánica se resumen en las tablas siguientes:

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		Consumo Energético			
		Masa Cble	Volumen Cble	μ [l/100 Km]	MWh
GASOLINA	<i>Ligeros / Pesados</i>	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km	0,0 MWh
DIESEL	<i>Ligeros</i>	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km	0,0 MWh
	<i>Pesados - Rígidos</i>	101.358,9 Kg cble	121.825,6 L	44,5 Kg cble	883,3 Kg cble
	<i>Pesados - Articulados</i>	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km	0,0 MWh

Fig 112. *Inventario Energético de la flota de vehículos de recogida de orgánica en el municipio de Alcalá de Guadaíra*

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		GEI	
		CO ₂	CH ₄
GASOLINA	Ligeros / Pesados	0,0 Kg	0,000 Kg
DIESEL	Ligeros	0,0 Kg	0,000 Kg
	Pesados - Rígidos	317.996,3 Kg	12,903 Kg
	Pesados - Articulados	0,0 Kg	0,000 Kg

Fig 113. Inventario Medioambiental de emisiones de GEI de la flota de vehículos de recogida de orgánica en el municipio de Alcalá de Guadaíra

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		Emisiones Contaminantes									
		CO	NO _x	COV	PM	Metales Pesados					
GASOLINA	Ligeros / Pesados	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn
DIESEL	Ligeros	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn
	Pesados - Rígidos	517,310 Kg	2.405,706 Kg	110,265 Kg	49,936 Kg	1.013,589 mg Cd	172.310,08 mg Cu	5.067,94 mg Cr	7.095,12 mg Ni	1.013,59 mg Se	101.358,87 mg Zn
	Pesados - Articulados	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn

Fig 114. Inventario Medioambiental de emisiones de Contaminantes Primarios de la flota de vehículos de recogida de orgánica en el municipio de Alcalá de Guadaíra

Consumo	121.825,6 L cble
Rendimiento	44,5 l/100 Km
GEI	317,996 Tn CO ₂

Fig 115. Resumen Inventario Energético y Medioambiental de la flota de recogida de orgánica en el municipio de Alcalá de Guadaíra

Una vez caracterizada la flota, los resultados necesarios para la validación de la flota de este tipo de recogida se resumen en la siguiente tabla:

Inventario Energético y Medioambiental actual		
Municipio	TEP/año	Tn CO ₂ /año
Alcalá de Guadaíra	105,13	317,99

Tabla 89. Inventario Energético y Medioambiental actual total de la flota de recogida orgánica en el municipio de Alcalá de Guadaíra

INVENTARIO AGREGADO TOTAL PARA LA FLOTA

En el inventario agregado se han incluido los tres tipos de recogida de residuos, para tener un inventario energético y medioambiental de la flota a nivel global. Los resultados se resumen en las tablas siguientes:

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		Consumo Energético			
		Masa Cble	Volumen Cble	μ [l/100 Km]	MWh
GASOLINA	Ligeros / Pesados	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km	0,0 MWh
DIESEL	Ligeros	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km	0,0 MWh
	Pesados - Rígidos	131.937,3 Kg cble	158.037,5 L	65,4 l/100 Km	1.149,8 MWh
	Pesados - Articulados	0,0 Kg cble	0,0 L	0,0 l/100 Km	0,0 MWh

Fig 116. Inventario Agregado Energético de la flota de vehículos de RSU en el municipio de Alcalá de Guadaíra

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		GEI	
		CO ₂	CH ₄
GASOLINA	Ligeros / Pesados	0,0 Kg	0,000 Kg
DIESEL	Ligeros	0,0 Kg	0,000 Kg
	Pesados - Rígidos	413.926,0 Kg	18,922 Kg
	Pesados - Articulados	0,0 Kg	0,000 Kg

Fig 117. Inventario Agregado Medioambiental de emisiones de GEI de la flota de vehículos de RSU en el municipio de Alcalá de Guadaíra

TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS CONTEMPLADOS		Emisiones Contaminantes									
		CO	NO _x	COV	PM	Metales Pesados					
GASOLINA	Ligeros / Pesados	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn
DIESEL	Ligeros	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn
	Pesados - Rígidos	762,338 Kg	3.221,274 Kg	168,185 Kg	73,143 Kg	1.319,373 mg Cd	224.293,41 mg Cu	6.596,86 mg Cr	9.235,61 mg Ni	1.319,38 mg Se	131.937,30 mg Zn
	Pesados - Articulados	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 Kg	0,000 mg Cd	0,00 mg Cu	0,00 mg Cr	0,00 mg Ni	0,00 mg Se	0,00 mg Zn

Fig 118. Inventario Agregado Medioambiental de emisiones de Contaminantes Primarios de la flota de vehículos de RSU en el municipio de Alcalá de Guadaíra

Consumo	158.037,5 L cble
Rendimiento	65,4 l/100 Km
GEI	413,926 Tn CO2

Fig 119. Resumen Inventario Agregado Energético y Medioambiental de la flota de RSU en el municipio de Alcalá de Guadaíra

5.3.2. Inventario Energético y Medioambiental Tendencial

Una vez analizado y caracterizado el servicio de recogida de residuos que se realiza en Alcalá de Guadaíra y calculado el estado actual en cuanto a las emisiones contaminantes y el consumo energético, se describe a continuación su evolución futura prevista, y con ella los consumos energéticos y emisiones ambientales esperadas en los próximos años si no se plantea ningún tipo de actuación que contribuya a mejorar el servicio en términos de sostenibilidad.

Para ello, se muestra en primer lugar la generación actual de residuos en Alcalá de Guadaíra a través de la siguiente tabla, donde se muestra el ratio de generación de residuos por habitante y año correspondiente al año 2011, calculado a partir de los datos globales de recogida y los datos actualizados de población (INE 2011):

Ratio Kg residuos generados / hab y año en 2011			
Municipio	Orgánicos	Papel y cartón	Envases
Alcalá de Guadaíra	465,72	15,74	11,69

Tabla 90. Kg/hab y año generados en 2011 en los municipios pertenecientes a la Mancomunidad

La evolución de la cantidad de residuos recogida en 2011 respecto del año 2010 tiende en general a la baja. En la siguiente tabla se muestran los datos de recogida comparativos entre dichos años para el municipio de Alcalá de Guadaíra. Puede comprobarse que la tasa de generación de residuos (medida en términos de tasa de recogida) se reduce para las fracciones de orgánicos y envases, mientras que para papel y cartón aumenta aunque muy levemente:

Tipo de residuo	Tn recogidos en 2010	Tn recogidos en 2011	Evolución interanual
Orgánicos	470,95	465,72	-1,11 %
Envases	12,17	11,69	-3,91 %
Papel y cartón	15,61	15,74	+0,83 %

Tabla 91. Evolución interanual de la tasa de recogida de residuos en el municipio de Dos Hermanas

Se detecta en Alcalá de Guadaíra una reducción de la tasa de generación de residuos orgánicos y de envases en 2011 respecto de 2010, pues ni el servicio ni la población se han visto disminuidos, concretamente del 1,11% y 3,91% respectivamente. Por tanto, se asume como consecuencia de la actual situación de crisis económica que se vive desde 2008.

La evolución de la tasa de recogida de residuos es un buen indicador del nivel económico de la población, a menor tasa de generación (equiparable a la de recogida si el servicio no se reduce), menor tasa de consumo. Especialmente relevante ha sido la reducción de la cantidad de envases ligeros de plástico recogida en 2011 respecto de 2010, de casi el 4 %. Este tipo de residuo es también un buen indicador del nivel económico de la población, pues su existencia deriva tanto de productos alimenticios como de otros que no son de primera necesidad, por lo que una reducción de su tasa de

generación conlleva una reducción del nivel de consumo de la población, aspecto propio de una época de crisis económica.

Una vez caracterizada la situación actual y su evolución respecto a años anteriores, se puede establecer una predicción de la situación futura tendencial del servicio de recogida de residuos, teniendo en cuenta que:

- Las previsiones del Gobierno de España, así como de la Comisión Europea, marcan para el año 2013 un periodo de recesión económica a nivel nacional y europeo, lo que derivará en un aumento del desempleo y por extensión en una reducción del nivel de consumo de la población.
- La implantación de un coste por la adquisición de bolsas de plástico en los establecimientos comerciales es de prever que reduzca en años sucesivos la disponibilidad de bolsas desechables por parte de la población, lo que conlleva una reducción en la separación de los residuos generados en los domicilios y por tanto en la tasa de recogida selectiva.
- Se espera que en 2014 comience de manera muy pausada la recuperación económica, con un crecimiento económico estimado del 0,1%-0,5% (Comisión Europea) y ya en 2015 en valores superiores, por lo que es de prever que poco a poco la generación de residuos, y por tanto su recogida, comience de nuevo a crecer, tanto a nivel de orgánicos como de selectivos.
- Las reducciones en los consumos energéticos y emisiones contaminantes previstas a corto plazo no se van a deber a actuaciones de sostenibilidad en el servicio de recogida, sino a potenciales disminuciones de la frecuencia de recogida derivadas de la reducción de la tasa de generación de residuos esperada y ya detectada. Si un contenedor tarda más tiempo en llenarse, se tendrá en principio una menor duración de la parada para su recogida, que a su vez podrá derivar en una menor frecuencia de recogida, esto es, menor número de trayectos al mes.
- Las dificultades que está sufriendo la Administración para financiarse hacen prever que no se vaya a aumentar la contenerización (al menos en cuanto a aumento de cobertura, sí ante potenciales reposiciones), por lo que la recogida selectiva no va a ver aumentada su cobertura a la población, al menos a corto plazo.
- El transcurrir de los años conlleva a nivel de la flota de vehículos de recogida un incremento del consumo energético y con ello de las emisiones contaminantes, especialmente en los que ya actualmente tienen más de 6 años de antigüedad, por lo que una reducción del servicio no tiene por qué estar vinculada a una reducción de su impacto medioambiental.

Con todos estos datos, se fija la siguiente evolución tendencial del servicio de recogida de residuos en Alcalá de Guadaíra, medida en variación interanual esperada y tomando como referencia la situación de base año 2011-, en caso de no implementar actuaciones de eficiencia energética, en un horizonte temporal contemplado entre los años 2013 a 2015. Todo ello en base a una serie de indicadores relacionados con el impacto energético y ambiental del servicio:

INDICADOR	2011 (Situación base)	2013	2014	2015
Cobertura a 100m de contenedores	90% orgánica 52% selectiva	±0%	+1.0% papel y cartón	+1.0% papel y cartón
Nº vehículos de recogida orgánica	10	±0	±0	+1 neto
Frecuencia de recogida selectiva	Diaria y Semanal	Sin cambios	Reducción de la semanal	Vuelta a frecuencias de 2012
TEP anuales consumidas	142,28	+4%	+6%	+13%
Tn CO₂ emitidas al año	412,81	+3%	+5%	+11%

Tabla 92. *Evolución tendencial del servicio de recogida de residuos en los municipios de la Mancomunidad*

Destacar en la tabla anterior los incrementos del consumo energético y de las emisiones de CO₂ asociados al aumento de la antigüedad de los vehículos, especialmente de los que ya tienen muchos años de servicio desde la situación de base. En relación a ello, las variaciones indicadas son interanuales, por lo que se remarca el hecho del incremento de los consumos energéticos esperados en 2015 respecto de la situación de base, en torno al 23%, de manera similar para las emisiones de CO₂.

Estas predicciones no hacen sino remarcar la importancia que tiene para el desempeño del servicio de recogida de residuos, la implementación de actuaciones dirigidas a la mejora energética y ambiental, pues como se ha puesto de manifiesto un marco de crisis económica y por tanto de retraimiento del consumo, no tiene por qué conllevar una reducción de los consumos energéticos y emisiones contaminantes. Además, ante una posible recuperación económica, a 2-3 años vista, un posible incremento del consumo y con ello del servicio de recogida sí que afectará proporcionalmente al impacto medioambiental del servicio, por lo que se plantea fundamental el hecho de mejorar la eficiencia energética del servicio desempeñado.

5.3.3. Validación Inventario Energético y Medioambiental

En la tabla siguiente se muestran los datos reales de cálculo del inventario energético y medioambiental realizado en la flota de vehículos de la Mancomunidad de Los Alcores, y más concretamente los empleados para el municipio de Alcalá de Guadaíra:

Inventario Energético y Medioambiental de las rutas de recogida en Alcalá de Guadaíra		
RESIDUO	TEP/año	Tm CO ₂ /año
Envases	21,61	59,11
Papel/cartón	11,48	36,75
Orgánicos	109,69	326,95
SUBTOTAL	142,78	412,81

Tabla 93. *Resumen Inventario Energético y Medioambiental real en el municipio de Alcalá de Guadaíra*

En la siguiente tabla se pueden ver los datos obtenidos, a partir de la herramienta diseñada en el presente Proyecto Fin de Carrera, del Inventario Energético y Medioambiental de la flota de transporte de la Mancomunidad de Los Alcores, en el municipio de Alcalá de Guadaíra:

Inventario Energético y Medioambiental de las rutas de recogida en Alcalá de Guadaíra		
RESIDUO	TEP/año	Tm CO ₂ /año
Envases	20,09	59,82
Papel/cartón	12,08	36,11
Orgánicos	105,13	317,99
SUBTOTAL	137,30	413,92

Tabla 94. *Resumen Inventario Energético y Medioambiental calculado con la herramienta en el municipio de Alcalá de Guadaíra*

Los datos reales y los valores obtenidos a través de la herramienta para el cálculo del Inventario Energético y Medioambiental de la flota de vehículos, se comparan para obtener el porcentaje de error que se comete con la metodología diseñada y validar así dicha herramienta.

Los errores cometidos para cada tipo de recogida con la flota de transporte en el municipio de Alcalá de Guadaíra son los siguientes:

RESIDUO	% error en TEP/año	% error en Tn CO₂/año
Envases	7,03	-1,20
Papel/cartón	-5,23	1,74
Orgánicos	4,16	-2,74
SUBTOTAL	3,84	2,10

Tabla 95. *Error cometido con la metodología diseñada para el cálculo del Inventario Energético y Medioambiental*

Como se puede observar, el error cometido al emplear la metodología diseñada en el presente Proyecto Fin de Carrera con respecto a los datos reales de la flota oscila entre el $\pm 4\%$, al tratarse de un error pequeño, se considera aceptable la metodología diseñada.

5.4. Cálculo de Impacto de Implantación de Medidas de Mejora

5.4.1. Impacto de Implantación de Medidas de Mejora

En este punto del proyecto, se aplican algunas medidas de mejora contempladas en la metodología diseñada a la flota de transporte de recogida de RSU en el municipio de Alcalá de Guadaíra y se validarán los resultados del impacto comparándolos con los datos reales obtenidos al llevar a cabo algunas de estas medidas en la flota.

En la siguiente tabla se muestran las medidas de mejora contempladas en la herramienta EXCEL diseñada:

Ámbitos	Código	Medida de Mejora
OPERACIONES	1.1	<i>Optimización de rutas</i>
	1.2	<i>Optimización de servicios</i>
	1.3	<i>Gestión de costes</i>
	1.4	<i>Plan de mantenimiento (neumáticos)</i>
	1.5	<i>Optimización de recursos</i>
	1.6	<i>Plan de gestión de combustible</i>
	1.7	<i>Maximización de capacidad de carga de vehículos</i>
SISTEMAS TELEMÁTICOS	2.1	<i>Seguimiento y control mediante GPS</i>
VEHÍCULOS	3.1	<i>Mejoras aerodinámicas</i>
	3.2	<i>Limitadores de velocidad</i>
	3.3	<i>Elementos complementarios al motor</i>
	3.4	<i>Plan de renovación de vehículos</i>
CONDUCTORES	4.1	<i>Formación en conducción eficiente</i>
	4.2	<i>Campaña contra el ralentí</i>
	4.3	<i>Motivación e incentivos al personal</i>
SISTEMA DE PROPULSIÓN	5.1	<i>Biocarburantes</i>
	5.2	<i>Gas Natural</i>
	5.3	<i>Autogás</i>
	5.4	<i>Vehículos eléctricos</i>
	5.5	<i>Hidrógeno</i>

Tabla 96. Medidas de Mejora contempladas en la metodología diseñada

Las medidas de mejora consideradas en la herramienta que se van a validar con datos reales son las siguientes:

- Optimización de rutas.
- Plan de Gestión de Combustible.
- Incorporación de biocarburantes.

Se aplicarán, además, otras medidas de mejora para ver el impacto que se obtiene a través de la herramienta, aunque no se dispongan de datos reales para su validación.

OPTIMIZACIÓN DE RUTAS

El reducir la cantidad de kilómetros recorridos por cada camión es uno de los objetivos prioritarios de cualquier gestor de flotas, de manera que se ha escogido dicha medida como la referencia en cuanto a medidas genéricas.

Además, se disponen de datos reales para algunas rutas optimizadas y su impacto energético y medioambiental una vez puestas en marcha en la realidad. A continuación, se describen dichas rutas, las cuales se introducirán en la herramienta diseñada en el presente Proyecto Fin de Carrera para ver el impacto que se obtiene con la herramienta y poder validar dicha medida de mejora en la metodología diseñada.

- **Ruta A1E: Ruta de Recogida Lateral de Envases Alcalá Norte**

Ruta	Longitud (km)	TEP año	CO ₂ año (Tn)
Ruta A1E	111,85	6,04	15,59

Tabla 97. Ruta A1E

Ruta Optimizada: cambios en la trama urbana del recorrido así como excluir de la ruta el punto limpio de Mairena y las dos baterías de las urbanizaciones El Torreón (Mairena del Alcor) y Las Encinas (Alcalá de Guadaíra). El punto limpio se incluye en una de las rutas de recogida del municipio de Mairena del Alcor, y las dos citadas urbanizaciones en la ruta de recogida lateral de Carmona, en su trayecto de entrega a la planta de Montemarta Cónica, reduciendo el recorrido. El hecho de que la recogida sea lateral condiciona la ruta en la medida en que el contenedor es recogido siempre en el sentido de la marcha, por lo que en las calles de doble sentido de circulación hay una dependencia directa con el emplazamiento de los contenedores.

Ruta	Longitud (km)	Variación (km)	TEP año	Variación (TEP)	CO ₂ año (Tn)	Variación (CO ₂)
Ruta Optimizada	95,78	-16,07	5,17	-0,87	13,35	-2,24

Tabla 98. Ruta A1E optimizada

A continuación se muestran imágenes de la ruta normal y la ruta optimizada:



Fig 121. Ruta normal AIE: Ruta de Recogida Lateral de Envases Alcalá Norte

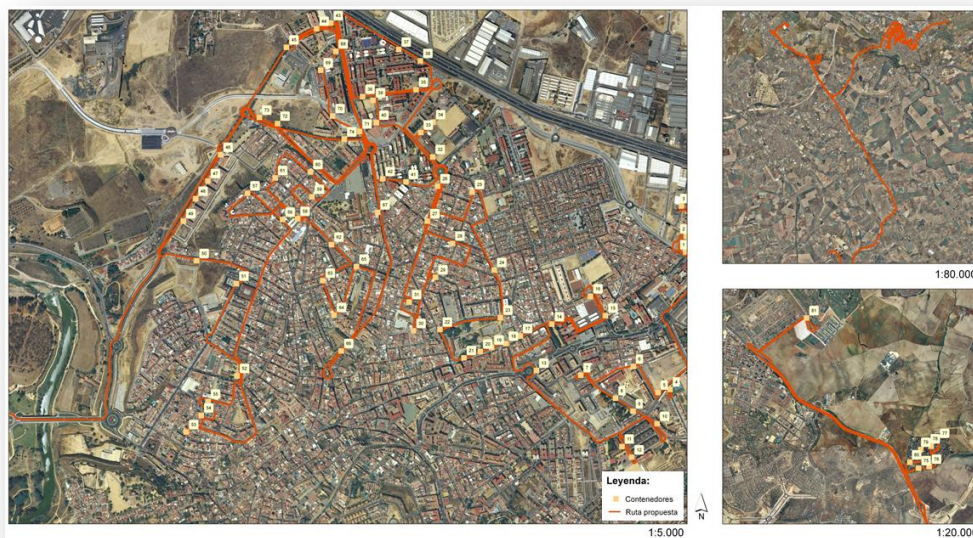


Fig 122. Ruta optimizada AIE: Ruta de Recogida Lateral de Envases Alcalá Norte

El ahorro energético y medioambiental obtenido con la herramienta se muestra en la tabla siguiente:

Ruta	Longitud (km)	Variación (km)	TEP año	Variación (TEP)	CO ₂ año (Tn)	Variación (CO ₂)
Cálculos herramienta	95,78	-16,07	5,37	-0,67	13,60	-1,99

Tabla 99. Impacto ruta AIE optimizada con herramienta

Dicho ahorro se ha obtenido empleando la metodología diseñada aplicable a medidas de mejora genéricas, ya que la optimización de rutas encaja con dicha metodología a la perfección.

- **Ruta A2E: Ruta de Recogida Lateral de Envases Alcalá Sur**

Ruta	Longitud (km)	TEP año	CO ₂ año (Tn)
Ruta A2E	104,31	5,63	14,54

Tabla 100. Ruta A2E

Ruta Optimizada: cambios en la trama urbana del recorrido así como excluir de la ruta el punto limpio de Mairena, que pasaría a una de las rutas de Mairena del Alcor. De nuevo se tiene la condicionalidad a que los contenedores se recogen en el sentido de la marcha.

Ruta	Longitud (km)	Variación (km)	TEP año	Variación (TEP)	CO ₂ año (Tn)	Variación (CO ₂)
Ruta Optimizada	89,66	-14,65	4,79	-0,84	13,50	-1,04

Tabla 101. Ruta A2E optimizada

En las siguientes imágenes se muestran la ruta normal y la ruta optimizada:

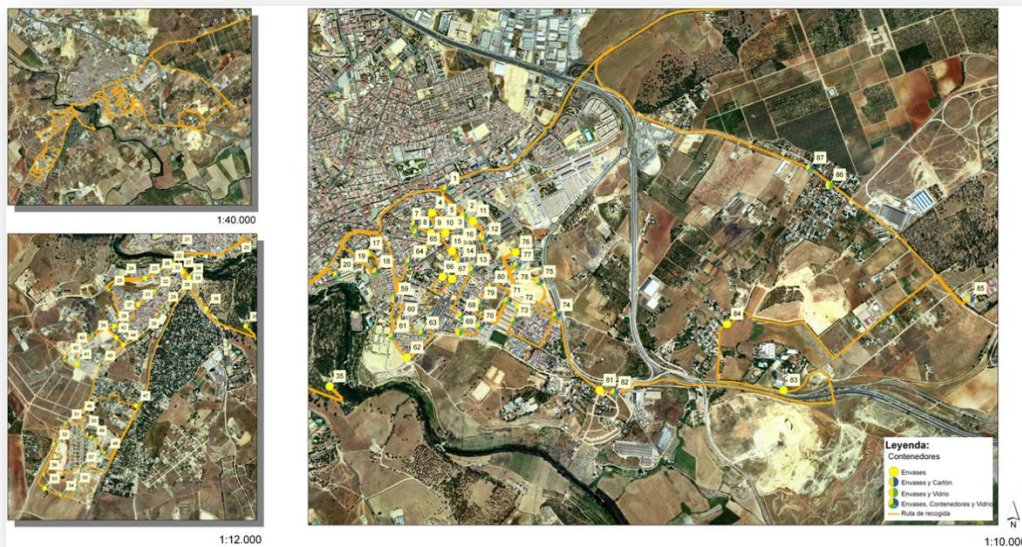


Fig 123. Ruta normal A2E: Ruta de Recogida Lateral de Envases Alcalá Sur

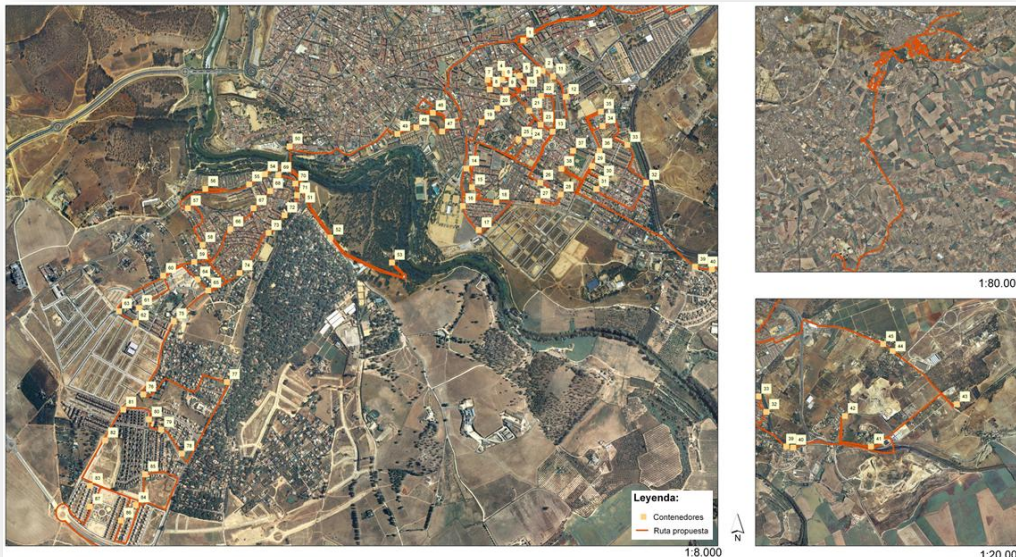


Fig 124. Ruta optimizada A2E: Ruta de Recogida Lateral de Envases Alcalá Sur

El ahorro energético y medioambiental obtenido con la herramienta se muestra en la tabla siguiente:

Ruta	Longitud (km)	Variación (km)	TEP año	Variación (TEP)	CO ₂ año (Tn)	Variación (CO ₂)
Cálculos herramienta	89,66	-14,65	4,94	-0,69	12,47	-2,07

Tabla 102. Impacto ruta A2E optimizada con herramienta

- **Ruta A1.1P: Ruta de Recogida Superior de Papel y Cartón Alcalá Norte 1**

Ruta	Longitud (km)	TEP año	CO ₂ año (Tn)
Ruta A1.1P	64,82	1,93	6,79

Tabla 103. Ruta A1.1P

Ruta Optimizada: cambio en el recorrido urbano, así como el traslado de una batería (calle Holanda) a la ruta siguiente de Alcalá Norte 2 y la incorporación de tres baterías desde dicha ruta (calles de los Silos, Cebada y Maíz). Además se ha tenido en cuenta el nº de contenedores recogidos hasta la primera de las dos entregas a planta, con el fin de que la ruta propuesta sea compatible con la capacidad del vehículo y que la primera ida y vuelta a planta también minimice su recorrido.

Diseño de una Metodología para la Estimación de Consumo Energético y Emisiones Contaminantes en Flotas de Transporte por Carretera

Ruta	Longitud (km)	Variación (km)	TEP año	Variación (TEP)	CO ₂ año (Tn)	Variación (CO ₂)
Ruta Optimizada	57,92	-6,9	1,53	-0,4	5,57	-1,22

Tabla 104. Ruta A1.IP optimizada

La ruta normal y la ruta optimizada se muestran en las siguientes imágenes:

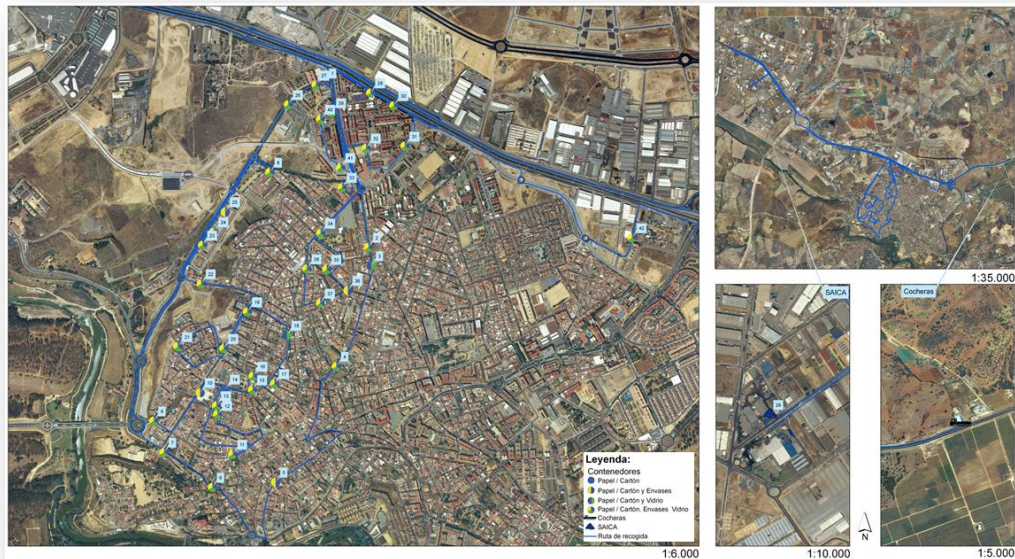


Fig 125. Ruta normal A1.IP: Ruta de Recogida Superior de Papel y Cartón Alcalá Norte 1

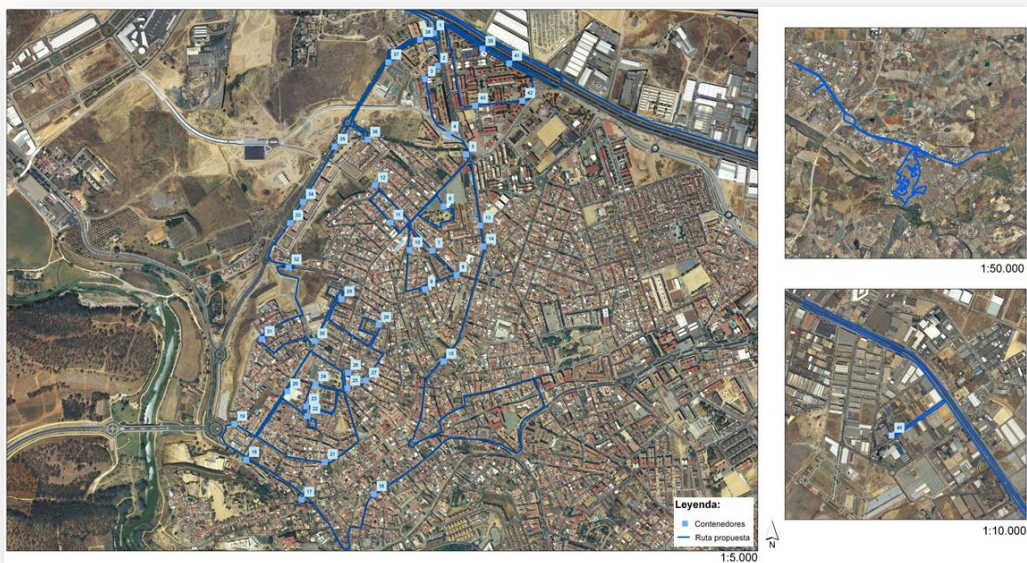


Fig 126. Ruta optimizada A1.IP: Ruta de Recogida Superior de Papel y Cartón Alcalá Norte 1

El ahorro energético y medioambiental obtenido con la herramienta se muestra en la tabla siguiente:

Ruta	Longitud (km)	Variación (km)	TEP año	Variación (TEP)	CO ₂ año (Tn)	Variación (CO ₂)
Cálculos herramienta	57,92	-6,9	1,68	-0,25	6,06	-0,73

Tabla 105. Impacto ruta A1.1P optimizada con herramienta

- **Ruta A1.2P: Ruta de Recogida Superior de Papel y Cartón Alcalá Norte 2**

Ruta	Longitud (km)	TEP año	CO ₂ año (Tn)
Ruta A1.2P	74,40	2,22	7,79

Tabla 106. Ruta A1.2P

Ruta Optimizada: cambio ya indicado en la ruta anterior así como algunas variaciones en el recorrido urbano, minimizando también las distancias asociadas a las dos entregas a la planta de reciclaje de residuos y sin afección a la capacidad de carga del vehículo.

Ruta	Longitud (km)	Variación (km)	TEP año	Variación (TEP)	CO ₂ año (Tn)	Variación (CO ₂)
Ruta Optimizada	69,89	-4,51	1,88	-0,34	6,57	-1,22

Tabla 107. Ruta A1.2P optimizada

Las imágenes de la ruta normal y de la ruta optimizada son las siguientes:

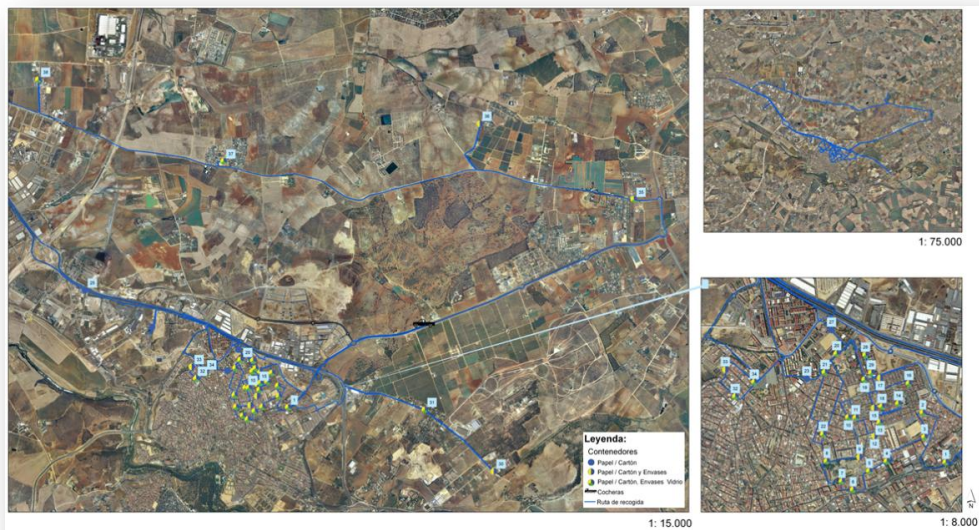


Fig 127. Ruta normal A1.2P: Ruta de Recogida Superior de Papel y Cartón Alcalá Norte 2

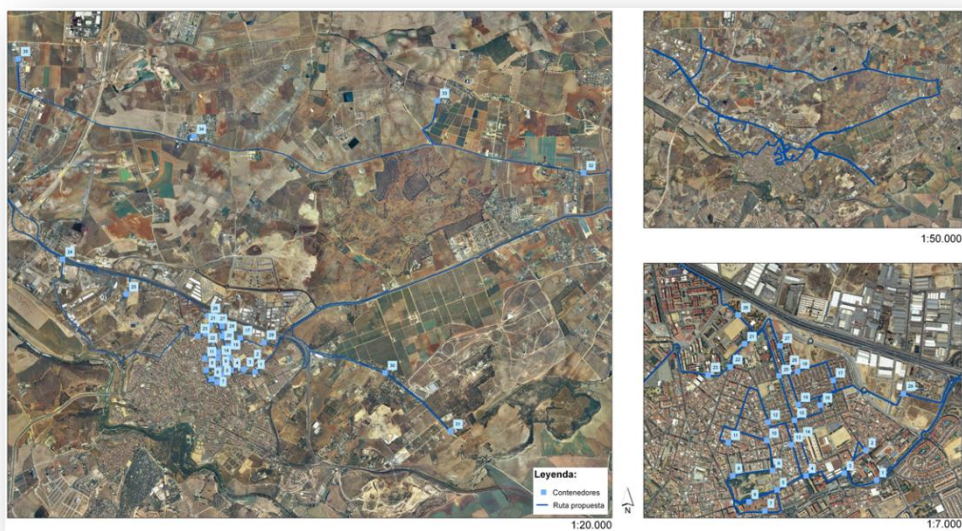


Fig 128. Ruta optimizada A1.2P: Ruta de Recogida Superior de Papel y Cartón Alcalá Norte 2

El ahorro energético y medioambiental obtenido con la herramienta se muestra en la tabla siguiente:

Ruta	Longitud (km)	Variación (km)	TEP año	Variación (TEP)	CO ₂ año (Tn)	Variación (CO ₂)
Cálculos herramienta	69,89	-4,51	2,08	-0,14	7,37	-0,42

Tabla 108. Impacto ruta A1.2P optimizada con herramienta

• **Ruta A50: Ruta de Recogida Trasera de Orgánicos Alcalá**

Ruta	Longitud (km)	TEP año	CO ₂ año (Tn)
Ruta A50	182,91	32,19	80,96

Tabla 109. Ruta A50

Ruta Optimizada: cambio en el recorrido urbano de recogida de contenedores, especialmente en las transiciones entre zonas alejadas del casco urbano. A efectos de distancias la optimización ha tenido en cuenta la peculiaridad del cambio de vehículo que se realiza en esta ruta, pues en la zona céntrica del casco se utiliza un vehículo más pequeño respecto del resto del recorrido (cambio que se realiza en las cocheras, tras finalizar la recogida en el centro). Asimismo el nuevo recorrido considera la minimización del recorrido en los trayectos a la planta de entrega de residuos.

Ruta	Longitud (km)	Variación (km)	TEP año	Variación (TEP)	CO ₂ año (Tn)	Variación (CO ₂)
Ruta Optimizada	165,62	-17,29	29,15	-3,04	73,31	-7,65

Tabla 110. Ruta A50 optimizada

En las siguientes imágenes se muestran la ruta normal y la ruta optimizada:

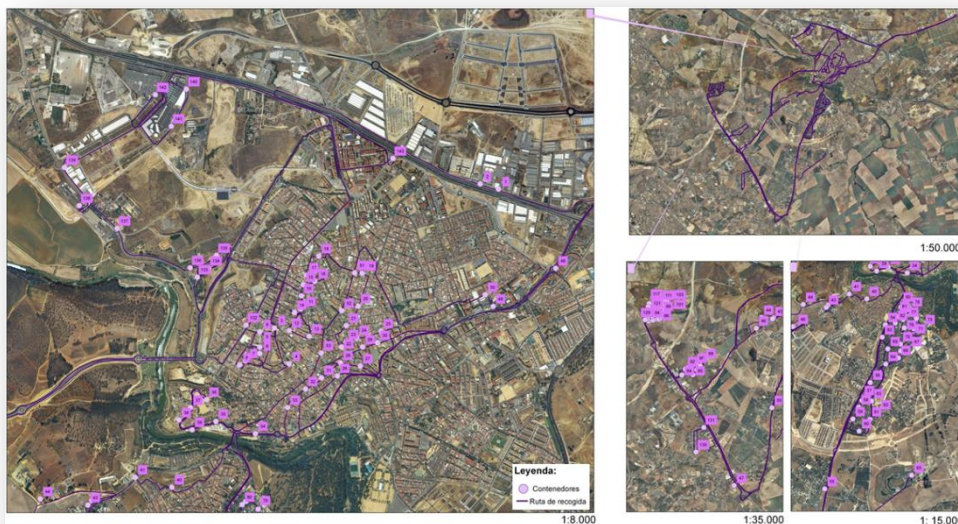


Fig 129. Ruta normal A50: Ruta de Recogida Trasera de Orgánicos Alcalá

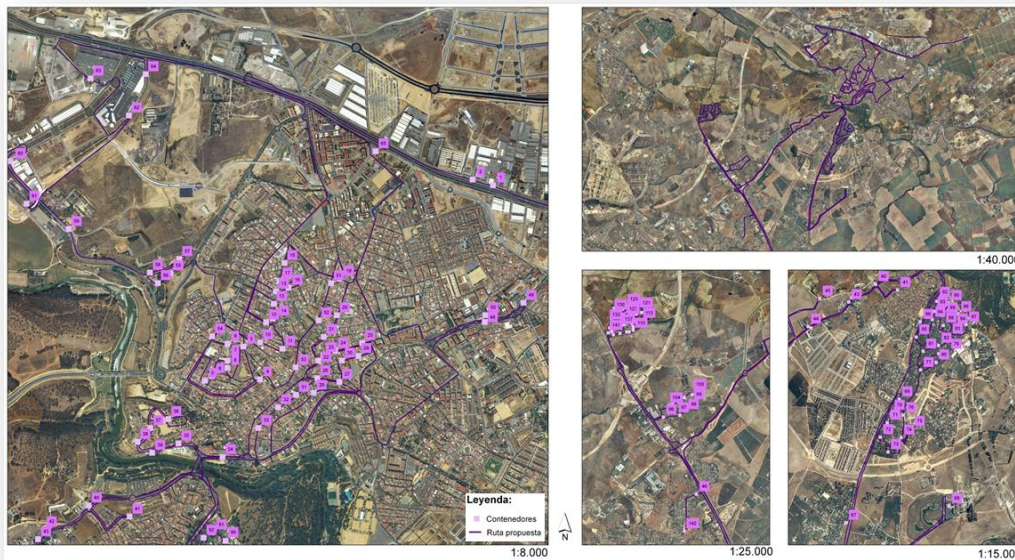


Fig 130. Ruta optimizada A5O: Ruta de Recogida Trasera de Orgánicos Alcalá

El ahorro energético y medioambiental obtenido con la herramienta se muestra en la tabla siguiente:

Ruta	Longitud (km)	Variación (km)	TEP año	Variación (TEP)	CO ₂ año (Tn)	Variación (CO ₂)
Cálculos herramienta	165,62	-17,29	29,73	-2,46	73,64	-7,32

Tabla 111. Impacto ruta A5O optimizada con herramienta

PLAN DE GESTIÓN DE COMBUSTIBLE

Los Planes de Gestión de Combustible tratan de reducir el consumo de combustible a través de la monitorización, seguimiento y control del consumo de combustible de cada vehículo en cada expedición que realiza. Con ello detectar picos en el consumo y tras su posterior análisis identificar los factores que lo provocan y plantear actuaciones correctivas al respecto. Dado que los costes del combustible se sitúan en torno al 30-35% de los costes totales de operación, es muy importante tener implantados este tipo de planes de gestión.

Anteriormente a la Auditoría Energética de la flota de vehículos de la Mancomunidad de Los Alcores no se realizaba ningún tipo de control del combustible, simplemente a través de las facturas del proveedor se tienen cuantificados los litros adquiridos, y en ocasiones se anotan también los km recorridos tras cada repostaje, pero sin hacer más cálculos o calibraciones. A partir de la Auditoría Energética se implantó un Plan de Gestión de Combustible.

El Plan de Gestión del Combustible consiste en fijar una estrategia de control y seguimiento para todas las operaciones relacionadas con el combustible en todas sus

etapas, desde la adquisición hasta el consumo. Es una estrategia de gestión basada en la vigilancia de todos los procesos vinculados al combustible, con el fin de reducir el coste en todos ellos. Consta de tres etapas: adquisición, consumo y control del combustible.

Con la implantación del Plan de Gestión de Combustible se consiguieron las siguientes reducciones:

Implantación de Plan de Gestión de Combustible en la flota real			
TEP/año	Ahorro TEP/año	Tn CO ₂ /año	Ahorro Tn CO ₂ /año
142,78	11,29	412,81	27,27

Tabla 112. Datos de ahorro al implantar un Plan de Gestión de Combustible para la flota real

Los cálculos en base a la herramienta diseñada se muestran en la tabla siguiente:

Implantación de Plan de Gestión de Combustible en la herramienta			
TEP/año	Ahorro TEP/año	Tn CO ₂ /año	Ahorro Tn CO ₂ /año
137,30	6,86	413,92	20,70

Tabla 113. Datos de ahorro al implantar un Plan de Gestión de Combustible obtenidos con la herramienta diseñada

PLAN DE MANTENIMIENTO

Los planes de mantenimiento tratan de maximizar la disponibilidad de los vehículos a través de una gestión del mantenimiento que permita reducir la probabilidad de averías, a través de un seguimiento del comportamiento del vehículo en el desempeño de su servicio. Uno de los puntos principales del mantenimiento es la correcta selección de neumáticos, ya que influyen de manera directa en el consumo de combustible.

En este sentido, no se ha conseguido disponer de información referente a los neumáticos empleados por los vehículos de la flota de RSU, por lo que no se ha podido aplicar este apartado de la metodología al caso real para su validación, si bien, dado que se han empleado datos del futuro etiquetado obligatorio de neumáticos es previsible que la metodología sea válida.

Aun así, se presenta a continuación el potencial impacto que tendría sobre uno de los vehículos de la flota el cambio de neumáticos, suponiendo que dicho vehículo emplease actualmente neumáticos de categoría 4 (6,1 N/kN > RRC < 7,0 N/kN) y los sustituyese por neumáticos de categoría 1 (RRC < 4,0 N/kN) mucho más eficientes.

El vehículo seleccionado para los cálculos ha sido el 4470-BDV que realiza habitualmente la ruta de recogida selectiva de papel y cartón A1.1P, haciendo anualmente unos 6.741 kilómetros.

Los resultados que se obtendrían con la medida de mejora supuesta se resumen en la siguiente tabla:

Ahorro Energético y Medioambiental					
Ahorro Energético			Reducción GEI		
Masa Cble	Volumen Cble	MWh	CO ₂		
208,8 Kg cble	250,910 L	1,83 MWh	659,911 Kg		
Reducción Emisiones Contaminantes					
Metales Pesados					
2,088 mg Cd	354,89 mg Cu	10,44 mg Cr	14,61 mg Ni	2,09 mg Se	208,76 mg Zn

Fig 131. Potencial ahorro anual por la sustitución de neumáticos eficientes en el camión 4470-BDV

MEJORAS AERODINÁMICAS

Al igual que en el caso anterior, no se ha podido discernir las características aerodinámicas de los vehículos de RSU de la flota real, por lo que se ha supuesto un caso de ejemplo de mejoras aerodinámicas para el camión 4470-BDV. Las mejoras aerodinámicas a incluir en el vehículo han sido las siguientes:

- Techo
- Espejos
- Defensas laterales
- Deflectores delanteros

Se han considerado medidas que afectan a la parte delantera del vehículo, ya que el resto de mejoras aerodinámicas no son aplicables a camiones de RSU, dadas sus particularidades.

Los potenciales resultados de ahorro a obtener se resumen en la tabla:

	Ahorro Energético y Medio Ambiental					
	Ahorro Energético			Reducción GEI		
	Masa Cble	Volumen Cble	MWh	CO ₂		
Techo	105,4 Kg cble	126,736 L	0,92 MWh	332,857 Kg		
Espejos	2,2 Kg cble	2,697 L	0,02 MWh	6,863 Kg		
Defensas laterales	13,5 Kg cble	16,179 L	0,12 MWh	42,322 Kg		
Deflectores	6,7 Kg cble	8,090 L	0,06 MWh	21,161 Kg		
	127,9 Kg cble	153,7 L	1,1 MWh	403,203 Kg		
Reducción Emisiones Contaminantes						
Metales Pesados						
Techo	1,054 mg Cd	179,26 mg Cu	5,27 mg Cr	7,38 mg Ni	1,05 mg Se	105,44 mg Zn
Espejos	0,022 mg Cd	3,81 mg Cu	0,11 mg Cr	0,16 mg Ni	0,02 mg Se	2,24 mg Zn
Defensas laterales	0,135 mg Cd	22,88 mg Cu	0,67 mg Cr	0,94 mg Ni	0,13 mg Se	13,46 mg Zn
Deflectores	0,067 mg Cd	11,44 mg Cu	0,34 mg Cr	0,47 mg Ni	0,07 mg Se	6,73 mg Zn
	1,279 mg Cd	217,395 mg Cu	6,394 mg Cr	8,952 mg Ni	1,279 mg Se	127,879 mg Zn

Fig 132. Potencial ahorro anual por las mejoras aerodinámicas en el camión 4470-BDV

FORMACIÓN EN CONDUCCIÓN EFICIENTE Y SEGURA

La formación en conducción eficiente y segura trata de reducir el consumo de combustible actual de los vehículos a través de la aplicación de técnicas de conducción eficiente (a nivel de conductores) así como de gestión operativa (a nivel de técnicos y gestores) orientada a la compatibilidad de dicha conducción con los requerimientos del servicio.

En el caso de la formación en la flota de vehículos de la Mancomunidad Los Alcores, no se ha podido verificar el grado de formación en conducción eficiente y segura de los conductores de la flota, por lo que tampoco se ha aplicado la metodología en este caso para su validación, sino que se ha supuesto una formación básica individual al conductor del vehículo 4470-BDV. Los resultados potenciales de ahorro con una formación básica serían los siguientes:

Ahorro Energético y Medioambiental						
	Ahorro Energético			Reducción GEI		
	Masa Cble	Volumen Cble	MWh	CO ₂		
Formación Básica	15,0 Kg cble	18,067 L	0,13 MWh	47,432 Kg		
Reducción Emisiones Contaminantes						
Metales Pesados						
Formación Básica	0,150 mg Cd	25,55 mg Cu	0,75 mg Cr	1,05 mg Ni	0,15 mg Se	15,03 mg Zn

Fig 133. Potencial ahorro anual por formación básica en conducción eficiente y segura al conductor del vehículo 4470-BDV

INCORPORACIÓN DE BIOCARBURANTES

Como se ha comentado con anterioridad, los biocarburantes son combustibles obtenidos a través del tratamiento químico de materia de origen biológico (biomasa). Lo habitual es que los biocarburantes sean una mezcla donde el porcentaje mayoritario es gasóleo (fuente fósil), y una parte minoritaria de origen en biomasa; si bien hay también flexifuels, que son biocarburantes donde el porcentaje mayoritario (incluso en algunos casos el 100%) procede de biomasa.

Para el caso de la flota de vehículos de RSU que realizan su servicio en Alcalá de Guadaíra, se ha implantado el uso del biodiesel en todos los vehículos de la flota, de manera que emplean el surtidor instalado en la Planta Alores I (Alcalá de Guadaíra) por parte de la Diputación de Sevilla; y los 16 surtidores de biodiesel del área metropolitana de Sevilla, de los cuáles hay 3 en Alcalá de Guadaíra (dos junto a la A-92 y otro en Montequinto junto a la A-376) y uno en El Viso del Alcor. Se indica página web donde consultar estas localizaciones:

http://www.biodieselpain.com/mapa_biogasolineras.php

En la tabla siguiente se muestran los kilómetros realizados, así como el cálculo de consumo energético y emisiones de CO₂ para algunos de los vehículos de recogida de RSU de la Mancomunidad de Los Alcores, que incluyen los servicios de Alcalá de Guadaíra (resaltados en color naranja). El porcentaje de componente “bio” empleado es del 10 %.

Implantación de Biodiesel (B10)					
MATRÍCULA (MODELO)	Km/año	Tn CO ₂ /año	Tn CO ₂ /año Inclusión B10	Variación Tn CO ₂ /año	% Ahorro CO ₂ /año
4470-BDV (IVECO 180E29)	6741,28	6,86	6,97	0,11	-1,60
9595-DTZ (IVECO 350)	39692,64	46,97	47,95	0,98	-2,09
5010-GDW (RENAULT 320)	66579,24	77,43	78,74	1,31	-1,69

Tabla 114. Datos de la implantación de biodiesel B30 como combustible alternativo

Se han introducido en la herramienta EXCEL diseñada para el impacto de la medida de mejora que incluye el uso de biocarburantes como combustible alternativo para los vehículos de la tabla anterior, que son para los que se tienen datos reales de la implantación de la medida, con estos datos se compara y se valida la metodología diseñada.

Al utilizar la herramienta diseñada para la implantación de biodiesel B10 en los tres vehículos, se obtiene el siguiente impacto mostrado en la tabla 115:

Implantación de Biodiesel (B10)					
MATRÍCULA (MODELO)	Km/año	Tn CO ₂ /año	Tn CO ₂ /año Inclusión B10	Variación Tn CO ₂ /año	% Ahorro CO ₂ /año
4470-BDV (IVECO 180E29)	6741,28	6,86	6,88	0,02	-0,29
9595-DTZ (IVECO 350)	39692,64	46,97	47,06	0,09	-0,19
5010-GDW (RENAULT 320)	66579,24	77,43	77,59	0,16	-0,21

Tabla 115. Datos de la implantación de biodiesel B10 como combustible alternativo en la herramienta

GAS NATURAL

El gas natural es un carburante de origen fósil conformado por una mezcla de hidrocarburos, normalmente al 86% en metano. Es el combustible fósil más limpio, pero las necesidades de almacenaje son elevadas, ya que se precisa de altas presiones (220 bares), por lo que los depósitos son muy voluminosos. La web donde ver las estaciones de repostaje públicas existentes en España es la siguiente:

<http://www.metanoauto.com/modules.php?name=Distributori&op=Mappa>

No hay ningún vehículo propulsado por gas natural en la flota de vehículos de recogida de RSU en la Mancomunidad Los Alcores. Se va a proceder a evaluar el potencial ahorro de llevar a cabo una sustitución de los vehículos actuales, si bien, los resultados no podrán ser validados.

En este caso es interesante observar el ahorro estimado por la herramienta en cuanto a contaminantes primarios, ya que mediante la implementación de Gas Natural como combustible alternativo se pretende reducir en una gran medida dichos contaminantes. Estos ahorros estimados se representan en la siguiente tabla:

Implantación de Gas Natural									
MATRÍCULA (MODELO)	Km/año	Kg CO/año	Kg NO _x /año	Kg COV/año	Kg PM/año	Kg CO/año Inclusión GN	Kg NO _x /año Inclusión GN	Kg COV/año Inclusión GN	Kg PM/año Inclusión GN
4470-BDV (IVECO 180E29)	6741,28	21,05	65,60	5,25	1,99	2,74	14,43	0,16	0
9595-DTZ (IVECO 350)	39692,64	131,97	423,78	30,10	12,04	17,16	93,23	0,90	0
5010-GDW (RENAULT 320)	66579,24	15,67	438,83	2,61	3,90	2,98	136,04	0,13	0

Tabla 116. Datos de la implantación de Gas Natural como combustible alternativo en la herramienta (I)

Implantación de Gas Natural					
MATRÍCULA (MODELO)	Km/año	Variación Kg CO/año	Variación Kg NO _x /año	Variación Kg COV/año	Variación Kg PM/año
4470-BDV (IVECO 180E29)	6741,28	18,31	51,17	5,09	1,99
9595-DTZ (IVECO 350)	39692,64	114,81	330,55	29,19	12,04
5010-GDW (RENAULT 320)	66579,24	12,69	302,79	2,48	3,90

Tabla 117. Datos de la implantación de Gas Natural como combustible alternativo en la herramienta (II)

AUTOGÁS

El comercialmente denominado autogás no es más que gas licuado del petróleo, un carburante de origen fósil conformado por una mezcla de butano y propano, por lo que en ese aspecto no deja de ser un combustible no renovable.

El autogás no tiene el problema de almacenamiento del gas natural, ya que es fácil de almacenar porque puede estar en estado líquido a bajas presiones (10 bares). En Europa está muy extendido, pero en España apenas se ha introducido. En el sitio web siguiente se pueden visualizar los puntos de repostaje públicos de autogás en España:

<http://www.spainautogas.com/repostar.htm>

Al igual que con el gas natural, no hay ningún vehículo propulsado por este tipo de combustible en la flota de vehículos de recogida de RSU en la Mancomunidad de Los Alcores, por lo que tampoco será posible validar esta medida de mejora.

En este caso, también es interesante ver el ahorro estimado para los contaminantes primarios al emplear autogás como combustible alternativo. Dichos ahorros se representan a continuación:

Implantación de Autogás									
MATRÍCULA (MODELO)	Km/año	Kg CO/año	Kg NO _x /año	Kg COV/año	Kg PM/año	Kg CO/año Inclusión Autogás	Kg NO _x /año Inclusión Autogás	Kg COV/año Inclusión Autogás	Kg PM/año Inclusión Autogás
4470-BDV (IVECO 180E29)	6741,28	21,05	65,60	5,25	1,99	7,37	3,94	0,10	0
9595-DTZ (IVECO 350)	39692,64	131,97	423,78	30,10	12,04	46,19	25,43	0,60	0
5010-GDW (RENAULT 320)	66579,24	15,67	438,83	2,61	3,90	7,68	39,49	0,10	0

Tabla 118. Datos de la implantación de Autogás como combustible alternativo en la herramienta (I)

Implantación de Autogás					
MATRÍCULA (MODELO)	Km/año	Variación Kg CO/año	Variación Kg NO _x /año	Variación Kg COV/año	Variación Kg PM/año
4470-BDV (IVECO 180E29)	6741,28	13,68	61,67	5,14	1,99
9595-DTZ (IVECO 350)	39692,64	85,78	398,36	29,50	12,04
5010-GDW (RENAULT 320)	66579,24	7,99	399,34	2,50	3,90

Tabla 119. Datos de la implantación de Autogás como combustible alternativo en la herramienta (II)

5.4.2. Validación Impacto de Medidas de Mejora

En este punto se comparan los datos reales obtenidos al llevar a cabo las medidas de mejoras aplicadas y los datos obtenidos al utilizar la herramienta diseñada en el presente proyecto. Al comparar dichos valores se obtiene un porcentaje de error, a través del cual se puede validar, o no, la metodología diseñada.

A continuación, se muestran tablas donde se resumen los valores obtenidos en ambos casos y el error cometido.

OPTIMIZACIÓN DE RUTAS

Ruta A1E: Ruta de Recogida Lateral de Envases Alcalá Norte

Comparativa de Ruta A1E Optimizada						
Ruta	Longitud (km)	Variación (km)	TEP año	Variación (TEP)	CO ₂ año (Tn)	Variación (CO ₂)
Ruta A1E	111,85	-	6,04	-	15,59	-
Ruta Optimizada	95,78	-16,07	5,17	-0,87	13,35	-2,24
Cálculos herramienta	95,78	-16,07	5,37	-0,67	13,60	-1,99

Tabla 120. Comparativa optimización de la ruta A1E

En la siguiente tabla se muestra el error cometido sobre el impacto de la optimización de la ruta A1E de los valores obtenidos a partir de la herramienta y de los valores reales:

RUTA A1E	TEP/año	Tn CO ₂ /año
Ruta Optimizada	5,17	13,35
Cálculos herramienta	5,37	13,6
ERROR	-3,87 %	-1,87 %

Tabla 121. Cálculo del error utilizando la herramienta EXCEL para optimización ruta A1E

Ruta A2E: Ruta de Recogida Lateral de Envases Alcalá Sur

Comparativa de Ruta A2E Optimizada						
Ruta	Longitud (km)	Variación (km)	TEP año	Variación (TEP)	CO ₂ año (Tn)	Variación (CO ₂)
Ruta A2E	104,31	-	5,63	-	14,54	-
Ruta Optimizada	89,66	-14,65	4,79	-0,84	13,50	-1,04
Cálculos herramienta	89,66	-14,65	4,94	-0,69	12,47	-2,07

Tabla 122. Comparativa optimización de la ruta A2E

En la siguiente tabla se muestra el error cometido sobre el impacto de la optimización de la ruta A2E de los valores obtenidos a partir de la herramienta y de los valores reales:

RUTA A2E	TEP/año	Tn CO ₂ /año
Ruta Optimizada	4,79	13,50
Cálculos herramienta	4,94	12,47
ERROR	-3,13 %	7,63 %

Tabla 123. Cálculo del error utilizando la herramienta EXCEL para optimización ruta A2E

Ruta A1.1P: Ruta de Recogida Superior de Papel y Cartón Alcalá Norte 1

Comparativa de Ruta A1.1P Optimizada						
Ruta	Longitud (km)	Variación (km)	TEP año	Variación (TEP)	CO ₂ año (Tn)	Variación (CO ₂)
Ruta A1.1P	64,82	-	1,93	-	6,79	-
Ruta Optimizada	57,92	-6,9	1,53	-0,4	5,57	-1,22
Cálculos herramienta	57,92	-6,9	1,68	-0,25	6,06	-0,73

Tabla 124. Comparativa optimización de la ruta A1.1P

En la siguiente tabla se muestra el error cometido sobre el impacto de la optimización de la ruta A1.1P de los valores obtenidos a partir de la herramienta y de los valores reales:

RUTA A1.1P	TEP/año	Tn CO ₂ /año
Ruta Optimizada	1,53	5,57
Cálculos herramienta	1,68	6,06
ERROR	9,80 %	8,80 %

Tabla 125. Cálculo del error utilizando la herramienta EXCEL para optimización ruta A1.1P

Ruta A1.2P: Ruta de Recogida Superior de Papel y Cartón Alcalá Norte 2

Comparativa de Ruta A1.2P Optimizada						
Ruta	Longitud (km)	Variación (km)	TEP año	Variación (TEP)	CO ₂ año (T)	Variación (CO ₂)
Ruta A1.2P	74,40	-	2,22	-	7,79	-
Ruta Optimizada	69,89	-4,51	1,88	-0,34	6,57	-1,22
Cálculos herramienta	69,89	-4,51	2,08	-0,14	7,37	-0,42

Tabla 126. Comparativa optimización de la ruta A1.2P

En la siguiente tabla se muestra el error cometido sobre el impacto de la optimización de la ruta A1.2P de los valores obtenidos a partir de la herramienta y de los valores reales:

RUTA A1.2P	TEP/año	Tn CO ₂ /año
Ruta Optimizada	1,88	6,57
Cálculos herramienta	2,08	7,37
ERROR	-10,64 %	-12,18 %

Tabla 127. Cálculo del error utilizando la herramienta EXCEL para optimización ruta A1.2P

Ruta A50: Ruta de Recogida Trasera de Orgánicos Alcalá

Comparativa de Ruta A50 Optimizada						
Ruta	Longitud (km)	Variación (km)	TEP año	Variación (TEP)	CO ₂ año (T)	Variación (CO ₂)
Ruta A50	182,91	-	32,19	-	80,96	-
Ruta Optimizada	165,62	-17,29	29,15	-3,04	73,31	-7,65
Cálculos herramienta	165,62	-17,29	29,73	-2,46	73,64	-7,32

Tabla 128. Comparativa optimización de la ruta A50 para el vehículo 5010-GDW

En la siguiente tabla se muestra el error cometido sobre el impacto de la optimización de la ruta A50 de los valores obtenidos a partir de la herramienta y de los valores reales:

RUTA A50	TEP/año	Tn CO ₂ /año
Ruta Optimizada	29,15	73,31
Cálculos herramienta	29,73	73,64
ERROR	-1,99 %	-0,45 %

Tabla 129. Cálculo del error utilizando la herramienta EXCEL para optimización ruta A50

PLAN DE GESTIÓN DE COMBUSTIBLE

A continuación se muestra el error cometido al usar la metodología diseñada y por tanto, su validación:

	TEP/año	Ahorro TEP/año	Ahorro (%)
Datos reales	142,78	11,29	7,9
Cálculos herramienta	137,30	6,86	5

Tabla 130. Cálculo del error utilizando la herramienta EXCEL para Plan de Gestión de Combustible

El total de ahorro con la implantación en la flota de vehículos de RSU de Alcalá de Guadaíra es casi del doble de lo previsto en la herramienta. Si bien, este gran error

muestra como la metodología de cálculo del impacto de medidas individuales es mucho más efectivo que el empleo de valores genéricos como el usado en este caso.

INCORPORACIÓN DE BIOCARBURANTES

En la siguiente tabla se comparan las mejoras obtenidas con la incorporación de B10 reales y B10 estimadas, y el impacto (para contaminantes primarios) que se obtendría al utilizar GN y Autogás. El error sólo se calcula para el caso de biodiesel, ya que es para los únicos que se tienen datos reales.

Comparativa vehículo 4470-BDV Optimizado					
	Longitud (km)	Tn cble/año	Variación (TEP)	CO₂/año (Tn)	Variación (Tn CO₂)
Estado Inicial Vehículo	6741,28	2,30	-	6,86	-
Sustitución Real B10	6741,28	2,35	0,05	6,97	0,11
Sustitución Estimada B10	6741,28	-	-	6,88	0,02

Tabla 131. Comparativa optimización vehículo 4470-BDV con la incorporación de B10

Comparativa vehículo 9595-DTZ Optimizado					
	Longitud (km)	TEP/año	Variación (TEP)	CO₂/año (Tn)	Variación (CO₂)
Estado Inicial Vehículo	39692,64	15,77	-	46,97	-
Sustitución Real B10	39692,64	16,09	0,32	47,95	0,98
Sustitución Estimada B10	39692,64	-	-	47,06	0,09

Tabla 132. Comparativa optimización vehículo 9595-DTZ con la incorporación de B10

Comparativa vehículo 5010-GDW Optimizado					
	Longitud (km)	TEP/año	Variación (TEP)	CO ₂ /año (Tn)	Variación (CO ₂)
Estado Inicial Vehículo	66579,24	25,99	-	77,43	-
Sustitución Real B10	66579,24	26,51	0,52	78,74	1,31
Sustitución Estimada B10	66579,24	-	-	77,59	0,16

Tabla 133. Comparativa optimización vehículo 5010-GDW con la incorporación de B10

En la siguiente tabla se muestra el error cometido sobre el impacto de la implantación de biodiesel a partir de la herramienta y de los valores reales:

Vehículo 4470-BDV	Tn CO ₂ /año
Sustitución Real B10	6,97
Sustitución Estimada B10	6,88
ERROR (%)	1,29

Tabla 134. Cálculo del error utilizando la herramienta EXCEL para optimización vehículo 4470-BDV

Vehículo 9595-DTZ	Tn CO ₂ /año
Sustitución Real B10	47,95
Sustitución Estimada B10	47,06
ERROR (%)	1,86

Tabla 135. Cálculo del error utilizando la herramienta EXCEL para optimización vehículo 9595-DTZ

Vehículo 5010-GDW	Tn CO₂/año
Sustitución Real B10	78,74
Sustitución Estimada B10	77,59
ERROR (%)	1,46

Tabla 136. *Cálculo del error utilizando la herramienta EXCEL para optimización vehículo 5010-GDW*

6. CONCLUSIONES Y EXTENSIONES

6.1. Conclusiones

La estimación del consumo energético y de las emisiones derivadas de la actividad de los vehículos de transporte por carretera en flotas es bastante complejo. Interfieren una serie de factores como el peso de los vehículos, el diseño y las condiciones de funcionamiento de los motores, el tipo y las características de los combustibles, el rendimiento de los dispositivos de control de las emisiones del escape, la variabilidad de los ciclos reales de recorrido, o las características de la red vial. Por tanto, el desarrollo de modelos de estimación que cuenten con márgenes de error pequeños es complicado de obtener. Estas herramientas se van adaptando continuamente con el objeto de obtener inventarios que se asemejen cada vez más a los verdaderos valores de consumo y emisión, si bien, el enfoque principal de las metodologías existentes se adaptan mejor a vehículos particulares y tránsito global en ciudades, no se enfocan a las operaciones profesionales del transporte, que es la temática abordada en el Proyecto Fin de Carrera.

De esta forma, la principal conclusión obtenida es la gran funcionalidad que puede llegar a ser la creación de una metodología adaptada a las flotas de transporte por carretera para la estimación de Inventarios Energéticos y Medioambientales derivados de las operaciones de transporte de los vehículos de la flota, que incluyan desde el propio consumo de combustible hasta las emisiones contaminantes de efecto global (gases de efecto invernadero, principalmente CO₂ y CH₄) y de efecto local (sustancias contaminantes como NO_x, CO, COV, PM y metales), e incluso, conformarse como una ayuda a la toma de decisiones permitiendo a los gestores de flotas anticiparse a la previsión del potencial impacto en su flota de vehículos por la puesta en marcha de una implantación concreta de mejora en las operaciones de la flota, considerando desde modificaciones del servicio hasta la sustitución de los propios vehículos.

En el presente proyecto, se ha desarrollado una metodología para poder incluir en un único Inventario Energético y Medioambiental todos los contaminantes considerados, para lo cual la metodología se ha tenido que adaptar a cada uno de ellos, distinguiendo las diferentes metodologías para estimar consumo energético, gases de efecto invernadero y gases contaminantes primarios, todo ello debido a las operaciones de transporte relacionadas con flotas de vehículos de transporte por carretera. Además, la metodología se adapta y puede incorporarse como una parte fundamental y de aporte de gran valor añadido a los proyectos de Auditorías Energéticas de Flotas.

A su vez, se ha desarrollado una metodología para estimar el potencial impacto energético y medioambiental que puede tener en el Inventario Energético y Medioambiental de la flota el llevar a cabo implantaciones de medidas de mejora en las operaciones y en los vehículos, como pueden ser desde acciones de optimización de rutas hasta acciones de renovación de vehículos.

Para permitir un correcto seguimiento de las medidas puestas en marcha en las flotas de vehículos, se ha desarrollado un Sistema de Seguimiento de Actuaciones

basado en Indicadores integrales, que sirve de soporte a los gestores de flotas para valorar la tendencia de las operaciones de los vehículos de su flota de transporte.

A continuación se indican las principales conclusiones obtenidas en el desarrollo de ambas metodologías:

1. Metodología de Cálculo de Inventario Energético y Medioambiental

La metodología diseñada permite la estimación, a partir del modelo desarrollado, del consumo energético y de la contaminación medioambiental provocada por las emisiones que generan los vehículos de transporte por carretera al realizar sus operaciones de transporte. Con los resultados obtenidos, se puede afirmar que es factible el uso de la herramienta diseñada a partir de modelos para obtener un inventario energético y medioambiental de una flota de transporte dada, a partir de una toma de datos inicial y un análisis y procesado de la información para su incorporación y aplicación en los modelos de estimación de consumo y emisiones. El resultado de la aplicación de la metodología es un Inventario Energético y Medioambiental completo, adaptado a las Auditorías Energéticas de Flotas de Vehículos, ya que sus fases de cálculo son equiparables, incluyendo toma de datos y diagnóstico, adquiriendo un mayor valor las Auditorías, ya que las actuales se limitan al cálculo de litros consumidos de combustible y únicamente a las emisiones de CO₂ estimadas.

En este sentido, la estimación de los modelos, tanto de consumo energético como de emisiones contaminantes (GEI y contaminantes primarios), tras realizar una identificación de los diferentes modelos considerados en bibliografía, se ha decidido desarrollar y adaptar los modelos incluidos en la metodología de la Guía EMEP/CORINAIR, aceptada a nivel Europeo, ya que es la metodología basada en la velocidad media que contempla un amplio espectro de sustancias contaminantes, incluyendo el consumo energético.

Para dotar de mayor criterio a los Inventarios Energéticos y Medioambientales a obtener, se ha considerado una metodología desagregada, esto es, que permita realizar el cálculo de manera individualizada por tipología de vehículo (tipo de combustible, tipo de vehículo, etc.). Esta variedad de Inventarios Desagregados tienen la ventaja de que, a partir de ellos es muy fácil obtener de manera directa Inventarios Agregados que permitan sacar conclusiones con valores globales de la flota.

Por último, indicar que todos los resultados obtenidos del diseño de la metodología se han plasmado en una herramienta Excel, que permite a un usuario sin conocimientos en los modelos el cálculo del Inventario Energético y Medioambiental de la Flota de sus vehículos, ya que se han automatizado los cálculos de manera que solo es necesaria la información recabada en la fase previa de toma de datos.

Las conclusiones particulares para cada modelo y tipología de contaminante considerado son las siguientes:

Modelo de Consumo Energético

En la parte relacionada con el Inventario Energético, se ha estimado el consumo energético aplicando un *modelo basado en la velocidad media*. Se ha seleccionado el modelo basado en velocidad media preferentemente a los modelos instantáneos y a los modelos modales, debido a que su proceso de cálculo se adapta con una mayor versatilidad a las Auditorías Energéticas de Flotas y tienen una mayor utilidad para los gestores de flotas, ya que para su cálculo se requiere de mucha menos información que

para los otros modelos, es más, para los otros modelos una flota tipo de vehículos de transporte no dispone de herramientas de toma de datos sofisticadas para lograr la información requerida.

El principal inconveniente que presenta el modelo basado en la velocidad media es que presenta un mayor error de estimación. Para validar el error que se obtiene con la metodología se ha aplicado la misma a una flota de vehículos real, en concreto, a la flota de recogida de residuos sólidos urbanos que realizan el servicio en el municipio de Alcalá de Guadaíra, y para la cual se disponía de información relacionada con la Auditoría Energética de la Flota realizada en el marco de la Mancomunidad de Los Alcores que presta dicho servicio.

De esta forma, al aplicar la herramienta diseñada, se obtiene el Inventario Energético y se compara con los datos reales que se tienen de la flota de transporte, llegando a la conclusión de que el modelo desarrollado en el diseño de la metodología es factible, ya que se comete un error de un $\pm 4\%$, que se considera pequeño, por lo que se puede aplicar dicha herramienta para el cálculo del Inventario Energético de una flota de transporte dada.

Modelo de Emisiones Contaminantes

En la parte relacionada con el Inventario Medioambiental se incluyen tanto las emisiones de Gases de Efecto Invernadero como las emisiones de Contaminantes Primarios.

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

El principal gas de efecto invernadero es el CO₂, siendo uno de los principales contaminantes considerados por la metodología adaptada a nivel europeo de la Guía EMEP/CORINAIR, metodología en la que se basa la herramienta diseñada en el presente Proyecto Fin de Carrera como se ha dicho anteriormente.

Para la obtención y validación del Inventario Medioambiental, al igual que para el consumo energético, se caracteriza en la herramienta diseñada en el Proyecto Fin de Carrera la flota de vehículos de recogida de RSU en la Mancomunidad de Los Alcores, en concreto en el municipio de Alcalá de Guadaíra, y los datos obtenidos en dicho inventario se comparan con los datos reales de la flota de transporte, obteniéndose un margen de error del $\pm 2\%$, que se considera lo suficientemente pequeño como para dar por válida la herramienta.

Emisiones de Contaminantes Primarios

Los principales Contaminantes Primarios que contempla la metodología desarrollada en el Proyecto son: NO_x, CO, COV, PM y metales pesados (Cd, Cu, Cr, Ni, Se y Zn).

Para este tipo de contaminantes no se ha podido validar la herramienta, ya que en la Auditoría de la flota de RSU de la Mancomunidad de Los Alcores no se realizó su cálculo. Esto no es un caso aislado, ya que los Inventarios Medioambientales suelen limitarse al cálculo de emisiones de CO₂. Aun así, la metodología diseñada puede considerarse válida, ya que los modelos de cálculo son similares a los utilizados para el CO₂, es decir, los modelos utilizados han sido validados en pruebas similares en

motores aislados, por lo que el $\pm 2\%$ de error puede extrapolarse al resto de contaminantes con un pequeño margen de error adicional, por lo que se considera válido para la herramienta.

2. Metodología de Estimación del Impacto Energético y Medioambiental por la Implantación de Medidas de Mejora

La metodología diseñada permite la estimación, a partir de una adaptación particularizada por medidas de actuación de los modelos desarrollados para el cálculo de Inventario Energético y Medioambiental, del impacto energético y medioambiental por la puesta en marcha de medidas de mejora en las flotas de transporte por carretera.

Al igual que en el caso anterior, la metodología desarrollada se ha aplicado a la flota de vehículos real, lo que ha permitido validar y evaluar la metodología diseñada. Si bien, en el caso de medidas de actuación puestas en marcha, no se ha podido validar el amplio abanico de medidas consideradas en la metodología, ya que en la flota real solo se han implantado algunas de las contempladas.

La primera conclusión obtenida es que la biblioteca de medidas de mejora diseñada, facilita la caracterización para la puesta en marcha de las mismas por parte de los gestores de flota.

En un segundo punto, para el diseño de los modelos de estimación se han seguido dos metodologías que han enfocado la problemática de la implantación de medidas en dos grandes bloques:

Medidas de Mejora Genéricas

En la metodología adaptada a medidas de mejora genéricas se han considerado aquellas medidas que influyen de manera directa en los parámetros de cálculo de la metodología diseñada para el cálculo de Inventarios Energéticos y Medioambientales, de manera que se ha necesitado realizar una modificación de los mismos para obtener los ahorros como consecuencia de la implantación.

La adaptación es válida para varias medidas: Optimización de rutas, optimización de servicios, optimización de recursos, maximización de capacidad de vehículos, seguimiento y control mediante GPS y limitadores de velocidad.

En este caso, se ha podido validar el modelo de estimación de impacto, ya que en la flota de RSU que presta su servicio en Alcalá de Guadaíra se llevaron a cabo actuaciones de optimización de ruta una vez finalizada la Auditoría Energética. En la validación se ha obtenido un error respecto a los datos reales de entorno al 10 % para el consumo energético y del 12 % para las emisiones contaminantes.

Medidas de Mejora Particularizadas

Hay un amplio grupo de medidas de mejora que suelen llevarse a cabo en flotas de transporte que no tienen una afección directa en la metodología de cálculo de Inventarios Energéticos y Medioambientales desarrollados, pero que por su importancia se ha decidido incluir en la herramienta, para facilitar aún más en la toma de decisiones

a los gestores de flota. Para ello, se han adaptado metodologías específicas para las siguientes actuaciones:

- **Plan de Mantenimiento:** en el caso del mantenimiento, se ha decidido incluir una metodología que compare el ahorro por sustitución de neumáticos, de manera que facilite la incorporación del futuro etiquetado obligatorio de los neumáticos a partir de su eficiencia.
- **Plan de Gestión de Combustible:** en este caso se ha realizado una validación con los datos de la Auditoría Energética de la flota de vehículos de RSU de Alcalá de Guadaíra. El resultado obtenido es que el total de ahorro al implantar la medida en la flota de vehículos en cuestión es casi del doble de lo estimado en la herramienta diseñada. Este gran error se debe a que el cálculo del impacto de esta medida se hace sobre el total de consumo energético y emisiones contaminantes, y no de manera individual para cada tipo de vehículos, por lo que se puede concluir que la metodología diseñada es mucho más efectiva al aplicar las medidas de forma individual que emplear la herramienta a valores genéricos, ya que en esta medida se ha considerado un valor estándar de reducción del 5 % de consumo y emisiones al implantar un Plan de Gestión de Combustible.
- **Mejoras Aerodinámicas:** se ha considerado la implantación de diversas medidas de mejora como son la forma del techo, guardabarros, faldones, deflectores, etc.
- **Formación en Conducción Eficiente:** en este caso se han considerado cuatro niveles de formación, y para cada uno de ellos se representa el ahorro en función del impacto previsible en la forma de conducir del conductor objeto de la formación.
- **Campaña Contra el Ralentí:** dichas campañas afectan de manera genérica a una reducción de 2 litros de combustible por hora.
- **Incorporación de Biocarburantes:** en este caso se considera la sustitución del combustible empleado. También se ha podido validar dicha medida, ya que varios vehículos de la flota de recogida de RSU en Alcalá de Guadaíra que empleaban diesel han sustituido su combustible por biodiesel (B10). Los resultados obtenidos han sido óptimos, ya que el error ha sido de un 2% aproximadamente.
- **Incorporación de Gas Natural:** en este caso se considera la opción de sustituir el combustible utilizado por Gas Natural. Para la obtención del impacto de esta medida se ha tenido que diseñar una metodología para el cálculo de los porcentajes de reducción para obtener el ahorro en emisiones de contaminantes primarios, ya que no se dispone de estos datos en bibliografía.
- **Incorporación de Autogás:** en este caso se considera la sustitución del combustible empleado por autogás. Para este combustible alternativo, al igual que para el Gas Natural, ha habido que diseñar una metodología para la obtención de los porcentajes de reducción para contaminantes primarios.

Se puede concluir, por tanto, que se han logrado los objetivos propuestos en el proyecto, es decir, se ha conseguido el diseño y desarrollo de una metodología flexible y de fácil uso que permite la estimación del consumo energético y emisiones contaminantes (GEI y contaminantes primarios) en flotas de transporte por carretera.

La herramienta diseñada es fiable ya que se ha podido validar obteniendo resultados aceptables. Por lo que dicha herramienta se podría incorporar a proyectos de Auditorías Energéticas de Flotas. Además, permite ver el consumo energético y las emisiones contaminantes tanto de manera desagregada como agregada, para cada tipo de vehículos de transporte por carretera, por lo que la herramienta se adapta al análisis global y al análisis particular.

Otro objetivo conseguido es la obtención de modelos para la estimación del impacto energético y medioambiental como consecuencia de la implantación de diferentes posibles medidas de mejora a aplicar en una flota de transporte, que sirve para ayudar a la toma de decisiones a los gestores de la flota y mejorar así el impacto energético y medioambiental.

6.2. Extensiones

A continuación, se van a presentar distintas posibles extensiones del presente proyecto Fin de Carrera:

1. *Ampliar el alcance de la Metodología de Cálculo de Inventario Energético y Medioambiental*

En la metodología de cálculo para el Inventario Energético y Medioambiental en flotas de transporte por carretera diseñada, aun siendo muy completa, podría ser ampliada mediante la inclusión de ciertos aspectos que se mencionan a continuación:

Contaminantes Secundarios

Los contaminantes secundarios se forman como consecuencia de las reacciones y transformaciones que experimentan los contaminantes primarios (emitidos de manera directa por los vehículos) una vez que se encuentran en la atmósfera.

El principal contaminante secundario es el ozono troposférico, cuya concentración en el aire ambiente es el resultado neto de una gran diversidad de procesos atmosféricos que incluyen su producción fotoquímica a partir de otros contaminantes primarios (NO_x , COV, CO, CH_4 , etc. emitidos por los vehículos principalmente en los entornos urbanos), su transporte a otras regiones, la intrusión en la troposfera de aire estratosférico rico en ozono y su destrucción en la atmósfera (por fotólisis o reacción química) o sobre la superficie terrestre (por deposición sobre superficies reactivas biológicas o no, tales como vegetación, suelo o ciertos polímeros).

Por lo tanto, se propone la inclusión de modelos de predicción de formación de ozono troposférico en la metodología diseñada, para ampliar el espectro de las sustancias contaminantes consideradas.

Contaminación Acústica

El ruido procedente del transporte es uno de los componentes más significativos de la contaminación acústica urbana, siendo un problema ambiental cada vez más importante en zonas urbanas. La cantidad de ruido emitido por cada vehículo depende fundamentalmente de dos factores: el tipo de vehículo y su velocidad.

Para los coches, a bajas velocidades las fuentes dominantes son el motor, las tomas de aire, el escape y la transmisión. A altas velocidades, el ruido generado por el rozamiento de los neumáticos y el ruido aerodinámico son del mismo orden o incluso superiores a los dominantes a baja velocidad. Sin embargo, para los camiones de transporte, el motor, el escape y la refrigeración son las fuentes dominantes de ruido en la mayoría de las situaciones de funcionamiento, aunque el ruido producido por el rozamiento de los neumáticos puede ser similar a altas velocidades.

En este caso, también sería interesante poder ampliar la herramienta para introducir modelos de contaminación acústica derivados de vehículos pesados de transporte.

2. Mejorar las Funcionalidades de la Herramienta Excel desarrollada

Como se ha comentado a lo largo del documento, un factor importante de desarrollo ha consistido en la construcción de una herramienta Excel que incluye todas las metodologías diseñadas en el proyecto, y que facilitan en gran medida su incorporación y uso por parte de gestores de flota de transporte. Sin embargo, la herramienta Excel puede ser objeto de potenciales mejoras que optimicen su funcionalidad y manejo general por parte de posibles usuarios.

Algunas de las potenciales mejoras de la herramienta pueden ser las que se mencionan:

- Incluir cálculos para la estimación del impacto energético y medioambiental al sustituir el combustible empleado en vehículos de gasolina por biocarburantes, ya que en la versión final no se han considerado ya que en España no es habitual la circulación de camiones propulsados por gasolina o su equivalente bioetanol. Sin embargo, en el caso de otros países, como es el caso de Brasil, si es más habitual este tipo de vehículos.
- Ampliar la herramienta para el cálculo del impacto a la hora de implantar biocarburantes pudiendo obtener el consumo energético en TEP, ya que en la versión actual el consumo energético se muestra únicamente en kWh y es necesaria la definición de una metodología para transformar los valores.
- Definir y desarrollar metodologías de cálculo específicas para la estimación del impacto energético y medioambiental al aplicar medidas de mejoras que se han identificado en la revisión de la literatura pero que no se han incluido en la herramienta diseñada, como son las siguientes: Gestión de costes, elementos complementarios al motor, motivación e incentivos al personal, sustitución por vehículos eléctricos y por vehículos de hidrógeno.
- Incluir la propuesta de extensión de diseño de metodología para la obtención de un Inventario Energético y Medioambiental para contaminantes secundarios y contaminación acústica.

Por último, indicar que otra posible extensión ligada a esto último es dotar a la herramienta de una interfaz gráfica más amigable con el usuario, de manera que se cambie la plataforma Excel por un desarrollo informático propio, que le dé más sustento a la herramienta.

3. Integrar la Metodología diseñada con Sistemas de Optimización de Rutas en Tiempo Real

Un parámetro primordial en la gestión de flotas es el optimizar las rutas de transporte de los vehículos.

Este cálculo de optimización de ruta suele encaminarse a la búsqueda de mínima distancia/tiempo en función de la demanda a servir, siendo el paso más importante para optimizar la operación del propio transporte. No en vano, a menos km recorridos, menor probabilidad de accidentes, averías e inmovilizaciones innecesarias.

Para conseguir todo ello las empresas de transporte suelen combinar algoritmos de ruta mínima (por ejemplo el algoritmo de Dijkstra) con dispositivos telemáticos de localización y servicios de información del tráfico en tiempo real.

En este aspecto, los métodos desarrollados en el proyecto podrían integrarse con algoritmos de optimización de rutas, de manera que en el algoritmo se prime la componente energética y medioambiental calculada a partir de la metodología diseñada, por lo que se propone la creación de un nuevo algoritmo de optimización de rutas sostenibles o eco-rutas, que pueda aplicarse a la toma de decisiones en tiempo real en flotas de transporte.

4. Realizar un Motor de Ayuda a la Toma de Decisiones a partir del Sistema de Indicadores

El Sistema de Seguimiento de Actuaciones basado en indicadores diseñado en el proyecto tiene un gran potencial para su uso en motores de conocimiento.

Por lo tanto, se propone el diseñar un motor de conocimiento con componente energética y medioambiental de ayuda a la toma de decisiones a partir del sistema de indicadores diseñado, que esté basado en un diseño de un árbol de reglas de decisión que permitan al sistema de inteligencia avisar al usuario cuando los indicadores de la flota se desvíen de manera negativa en alguno de los vehículos de la flota.

Dichos árboles de decisión necesitarán de un análisis de valores de indicadores en función de determinados criterios incluidos en el sistema diseñado referentes a la cuantificación de los aspectos energéticos y medioambientales, que se actualicen a partir de la recogida de la toma de datos volcados en la base de datos. Una vez detectadas desviaciones, el motor de conocimiento deberá analizar utilizando la metodología de estimación del impacto energético y medioambiental por la implantación de medidas de mejora cual es la actuación del conjunto de actuaciones a implantar que mejore de una manera más óptima las operaciones de la flota de vehículos.

Una posible propuesta podría ser que las actuaciones recogidas por el modelo de selección sean ordenadas y clasificadas para generar un listado de alternativas donde no sólo se describa la propuesta, sino los indicadores energéticos y medioambientales de seguimiento, su proceso de implantación y los beneficios.

5. Desarrollar una Metodología para incorporar al Sector Transporte en la Comercialización de CO₂

Como consecuencia de la legislación actual, la gestión de la calidad del aire respecto a las emisiones de CO₂ recae en las distintas entidades industriales que son las principales causantes del incremento de emisiones de CO₂ a escala global. A partir de ello, se ha estructurado un mercado de emisiones de CO₂, en el cual, aquellas entidades más sostenibles por debajo de su umbral permitido de emisiones tienen la posibilidad de vender derechos de emisión sobrantes a otras entidades más contaminantes que hayan superado su umbral permitido.

Sin embargo, en este comercio de emisiones no se incluye al sector transporte, debido a la dificultad de cuantificar sus emisiones de CO₂.

Por lo tanto, se propone que se desarrolle una metodología para incorporar al sector transporte en el mercado de derechos de emisión de CO₂, empleando como base la herramienta diseñada en el presente proyecto Fin de Carrera, ya que como se ha comentado en diversas ocasiones, el sector transporte es uno de los principales causantes del calentamiento global debido a sus emisiones de GEI.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. [AAE2010] Datos Energéticos de Andalucía 2010. Agencia Andaluza de la Energía. Consejería de Economía, Innovación y Ciencia. 2010
2. [AKC1989] R. Akcelik. Efficiency and Drag in the Power-Based Model of Fuel Consumption. *Transportation Research* 23B, 376-385. 1989
3. [AHN1998] K. Ahn, M.W. Van Aerde, A.A. Trani, W.H. Lin y H. Rakha. Microscopic fuel consumption and emission modelling. Blacksburg, Virginia, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. 1998
4. [AND2006] M. André, M. Rapone, N. Adra, J. Poliák, M. Keller, I. McCrae. Traffic characteristics for the estimation of the pollutant emissions from road transport. 2006
5. [ANR1993] F. An y M. Ross. Model of Fuel Economy with applications to Driving Cycles & Traffic Management. *Transportation Research Record*, Washington, D.C. 1993
6. [ANR1993] F. An y M. Ross. A Model of Fuel Consumption and Driving Patterns. *Transportation Research Record*, Washington, D.C. 1993
7. [BAK1994] M. Baker. Fuel Consumption and Emission Models for Evaluating Traffic Control and Route Guidance Strategies, Mater thesis, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada. 1994
8. [BAR2005] M. Barth, T. Younglove y G. Scora. Development of a Heavy-Duty Diesel Modal Emissions and Fuel Consumption Model. Technical Report. UC Berkeley: California Partners for Advanced Transit and Highways, San Francisco. 2005
9. [BOU2007] P.G. Boulter, I.S. McCrae. The links between micro-scale traffic, emission and air pollution models. 2007
10. [BOW1985] D.P. Bowyer, D.C. Biggs y R. Akçelik. Guide to fuel consumption analysis for urban traffic management. *Australian Road Research Board Transport Research* 32. 1985
11. [CAM2009] Pagina web con artículos referidos al cambio climático.
<http://www.cambioclimatico.com/>
<http://www.cambioclimatico.org/index.php?q=contenido/clima-tiempo-y-calentamiento-global>
12. [CAS2002] J.M. Castro y A. Morillas. Indicadores de Desarrollo Sostenible Urbano. Universidad de Málaga, 2002
13. [CLR1979] Naciones Unidas. Convention on Long Range Transboundary Air Pollution. 1979
14. [COS1999] Estimation of Pollutants Emissions from Transport. European Commission. Directorate General Transport, 174 p. 1999
15. [DIO2000] F. Dion, M. Van Aerde y H. Rakha. Mesoscopic Fuel Consumption and Vehicle Emission Rate Estimation as a Function of Average Speed and

- Number of Stops. Submitted for presentation at the Transportation Research Board 79th Annual Meeting, January. 2000
16. [EEA1999] European Environment Agency (EEA). EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guide Book. 1999
 17. [EEA2003] European Environment Agency (EEA). EMEP/CORINAIR Emissions Inventory Guidebook – 3rd edition September 2003 update. Technical report No 30. 2003
 18. [EEA2008] European Environment Agency. Climate for a transport change: indicators tracking transport and environment in the European Union. EEA Report No 1. 2008
 19. [ERL2008] L. Erlandsson, J. Almen, H. Johansson. Measurement of emissions from heavy duty vehicles meeting Euro IV/V emission levels by using onboard measurement in real life operation. 2008
 20. [EVA1978] L. Evans y R. Herman. Automobile Fuel Economy on Fixed Urban Driving Schedules. Transportation Science, Vol. 12, No. 2, pp. 137-152. 1978
 21. [EME2007] EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook. 2007
 22. [FAG2010] K. Fagerholt, G. Laporte, I. Norstad. Reducing fuel emissions by optimizing speed on shipping routes. 2010
 23. [FBP2006] Freight Best Practice. Fleet Performance Management Tool Incorporating CO2 Emissions Calculator. 2006
 24. [FBP2006] Freight Best Practice. Performance Management for Efficient Road Freight Operations. 2006
 25. [GEN1997] G. Genta. Motor Vehicle Dynamics: Modelling and Simulation. 1997
 26. [HIC1999] J. Hickman, D. Hassel, R. Joumard, Z. Samaras y S. Sorenson. MEET-Methodology for Calculating Transport Emissions and Energy Consumption. European Commission, DG VII. Technical Report. 1999
 27. [IEA2007] International Energy Agency Key words. 2007
 28. [INN1996] G. McInnes. Atmospheric emission inventory guide book, a joint EMEP/CORINAIR production, EEA, B710/9-11, Copenhagen. 1996
 29. [INR1999] INRETS. Method of estimation of atmospheric emissions from transport: European scientist network and scientific state-of-art. Action COST. 1999
 30. [JAM2009] James Hansen, Makiko Sato, Reto Ruedy, Andrew Lacis, Valdar Oinas. Global warming in the twenty-first century: An alternative scenario. 2009
 31. [KEN1982] J.H Kent, K. Post, J.A. Tomlin. Fuel consumption and emission modeling in traffic links. 1982
 32. [KIO1998] Naciones Unidas. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 1998
 33. [LAM1985] T.N. Lam. Estimating fuel consumption from engine size. Journal of Transportation Engineering, 111, pp 111-339. 1985

34. [LEE2010] La Energía en España 2010. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Gobierno de España. 2010
35. [MON2006] PNUMA. Manual del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la Capa de Ozono. 2006
36. [NTZ2000] L. Ntziachristos y Z. Samaras. COPERT III Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport: Methodology and Emission Factors. Technical Report. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark. 2000
37. [PAC2007] IPCC: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza. 2007
38. [PIK2012] Potsdam Institute for Climate Impact Research. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation – Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2012
39. [POST1984] K. Post, J.H. Kent, J. Tomlin y N. Carruthers. Fuel consumption and emission modeling by power demand and a comparison with other model. Transportation Research 18A, 191-213. 1984
40. [RAK1998] H. Rakha, L. Bloomberg y X. Huang. Construction and Calibration of a Large-Scale Microsimulation Model of the Salt Lake Area. Virginia, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. 1998
41. [RAK2004] H. Rakha y K. Ahn. INTEGRATION Modeling Framework for Estimating Mobile Source Emissions. Journal of Transportation Engineering, Vol. 130(2), pp. 183-193. 2004
42. [RIC1981] A.J. Richardson y R. Akcelik. Fuel consumption Models and Data Needs for the design and Evaluation of Urban Traffic System, Australian Road Research Board, Report No. ARR 124. 1981
43. [USE2005] US Environmental Protection Agency. 2005 (<http://www.epa.gov>)

8. ANEXOS

En el presente anexo se resumen brevemente las normas y disposiciones más relevantes en el ámbito Europeo y Español que afectan a la gestión de flotas.

NORMATIVAS A NIVEL EUROPEO		
NORMAS	FECHA	CONCEPTO
Directiva 2009/28/CE (modifica a Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE)	23 de abril de 2009	Fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables
Directiva 2005/55/CE	28 de septiembre de 2005	Medidas que deben adoptarse contra la emisión de gases y partículas contaminantes
Directiva 2002/49/CE	25 de junio de 2002	Evaluación y gestión del ruido ambiental
Directiva 1999/62/CE (sustituye a la Directiva 93/89/CE)	17 de junio de 1999	Aplicación de gravámenes a los vehículos pesados
Directiva 1999/94/CE	13 de diciembre de 1999	Información sobre el consumo de combustible y sobre las emisiones de CO ₂
Directiva 96/53/CE	25 de julio de 1996	Dimensiones máximas autorizadas en el tráfico nacional e internacional y los pesos máximos autorizados en el tráfico internacional
Directiva 70/220/CE	20 de marzo de 1970	Contaminación del aire causada por los gases procedentes de los motores de explosión con los que están equipados los vehículos a motor
Directiva 80/1268/CEE	16 de diciembre de 1980	Emisiones de dióxido de carbono y consumo de combustible de los vehículos de motor
COM(2010)186	2010	Estrategia Europea sobre Vehículos Limpios y Energéticamente Eficientes
Reglamento N° 595/2009 (CE)	18 de junio de 2009	Homologación de las emisiones de los vehículos pesados (Euro VI)
Reglamento N° 692/2008 (CE)	18 de julio de 2008	Homologación de las emisiones de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6)
Reglamento N° 1360/2002 (CE) (7ª adaptación del Reglamento N° 3821/85)	13 de junio de 2002	Aparato de control en el sector de los transportes por carretera

Tabla 137. Normas y disposiciones más relevantes en el ámbito Europeo para la gestión de flotas (I)

NORMATIVAS A NIVEL EUROPEO		
NORMAS	FECHA	CONCEPTO
Reglamento N° 561/2006 (CE) (deroga el Reglamento N° 3820/85)	15 de marzo de 2006	Armonización de determinadas disposiciones en materia social en el sector de los transportes por carretera
Reglamento N° 1222/2009 (CE)	25 de noviembre de 2009	Etiquetado de neumáticos en relación con la eficiencia de carburante
Reglamento N° 228/2011 (CE)	7 de marzo de 2011	Métodos de ensayo de la adherencia en superficie mojada para los neumáticos C1
Reglamento N° 83 (CEPE)	15 de febrero de 2012	Homologación de vehículos por lo que respecta a la emisión de contaminantes
Reglamento N° 101 (CEPE)	19 de junio de 2007	Homologación de vehículos por lo que respecta a la emisión de contaminantes, incluyendo los vehículos eléctricos
Propuesta de Reglamento COM(2009) 593	17 de junio de 2009	Normas de comportamiento en materia de emisiones de los vehículos industriales ligeros nuevos
Propuesta Directiva COM(2010) 508	27 de septiembre de 2010	Nivel sonoro admisible y dispositivo de escape de los vehículos a motor
Libro Blanco	2002	La política Europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad

Tabla 138. Normas y disposiciones más relevantes en el ámbito Europeo para la gestión de flotas (I)

NORMATIVAS A NIVEL ESPAÑOL		
NORMAS	FECHA	CONCEPTO
E4 (2004 – 2012)	28 de noviembre de 2003	Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004 – 2012
EEMS	30 de abril de 2009	Estrategia Española de Movilidad Sostenible
Ley 34/2007	25 de noviembre de 2007	Calidad del aire y protección de la atmósfera
Ley 37/2003	17 de noviembre de 2003	Ley del Ruido
Libro Verde	Marzo 2007	Estrategia de Medio Ambiente Urbano de la Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible
Orden ITC/2877/2008	9 de octubre de 2008	Fomento del uso de biocarburantes y otros combustibles renovables
Orden PRE/29/2004 (modifica Anexo III Real Decreto 837/2002)	15 de enero de 2004	Información relativa al consumo de combustible y a las emisiones de CO ₂ de los turismos nuevos
PAAEE	29 de julio de 2011	Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011 – 2020
PMUAEE	4 de marzo de 2011	Plan de Medidas Urgentes de Ahorro y Eficiencia Energética 2011
Real Decreto 1513/2005	16 de diciembre de 2005	Desarrollo de la Ley 37/2003: Evaluación y gestión del ruido ambiental
Real Decreto 837/2002	2 de agosto de 2002	Información relativa al consumo de combustible y a las emisiones de CO ₂ de los turismos nuevos
Real Decreto 2042/1994	14 de octubre de 1994	Inspección Técnica de Vehículos
Real Decreto 2822/1998	23 de diciembre de 1998	Reglamento General de Vehículos
Real Decreto 957/2002, modificado posteriormente por RD 122/2004 y Orden IET/557/2012	13 de septiembre de 2002	Inspección Técnica de Vehículos en carretera

Tabla 139. Normas y disposiciones más relevantes en el ámbito Español para la gestión de flotas

OTRAS NORMATIVAS RELEVANTES A NIVEL ESPAÑOL		
NORMAS	FECHA	CONCEPTO
Real Decreto 314/2006	17 de marzo	Código técnico de la edificación (CTE)
Real Decreto 47/2007	19 de enero	Procedimiento de certificación de eficiencia energética de edificios
Ley 2/2007	27 de marzo	Fomento de las energías renovables y del ahorro y eficiencia energéticas en Andalucía
Decreto 169/2011	31 de mayo	Reglamento de fomento de las energías renovables y del ahorro y eficiencia energéticas en Andalucía
UNE 216501:2009	7 de octubre	Auditorías energéticas. Requisitos
UNE-EN ISO 50001:2011	8 de noviembre	Sistemas de gestión de la energía
UNE-EN ISO 14000:2004	15 de noviembre	Sistemas de gestión medioambiental
UNE-EN ISO 9000:2008 / AC 2009	17 de noviembre AC 9 de septiembre	Sistemas de gestión de la calidad

Tabla 140. *Otra normativa de interés relacionada con la gestión de flotas*

Índice de Figuras

Fig 1.	Diagrama de Sankey de la Energía en España en 2010 [LEE2010]	1
Fig 2.	Evolución del consumo y producción para consumo interior de energías en la UE	2
Fig 3.	Consumo de energía final en España en 2010 [LEE2010].....	2
Fig 4.	Evolución consumo de energía final por sectores de actividad en Andalucía	3
Fig 5.	Evolución consumo de energía final por sectores de actividad en Andalucía	3
Fig 6.	Evolución del consumo del sector del transporte por fuentes en Andalucía.....	4
Fig 7.	Distribución del consumo del sector transporte por fuentes en Andalucía – Año 2010 [AAE2010]	4
Fig 8.	Emisiones de GEI antropógenos entre 1970 y 2004. [IPCC].....	6
Fig 9.	Concentraciones de CO ₂ . [IPCC].....	7
Fig 10.	Emisiones de CO ₂ por el uso de Fuel. N. Makarova (The Rockefeller University).....	8
Fig 11.	Concentración de dióxido de carbono en la atmósfera en los últimos 1000 años.	9
Fig 12.	Evolución de las emisiones de CO ₂ en Mts. a partir de fuel en el mundo.	10
Fig 13.	Cambio de reparto de emisiones de CO ₂ entre 1973 y 2005.....	11
Fig 14.	Emisiones totales GEI (CO ₂ -eq)	13
Fig 15.	Evolución de los límites de emisiones en motores Diesel de camiones pesados según Directiva Europea.....	14
Fig 16.	Porcentaje de costes en un vehículo según tipología	15
Fig 17.	Esquema General de la Metodología de Auditorías Energéticas de Flotas.....	17
Fig 18.	Origen de datos a recabar	19
Fig 19.	Estrategias con los conductores para consumo eficiente	27
Fig 20.	Curva velocidad – aceleración para un vehículo [AHN1998].....	46
Fig 21.	Aceleración frente a velocidad [BAK1994]	48
Fig 22.	Flujo de información dentro de un modelo mesoscópico de consumo de combustible y modelo de emisión[DIO2000].....	49
Fig 23.	Consumo mesoscópico y microscópico para un modo de conducción urbano de EPA.[DIO2000]	50
Fig 24.	Metodología para la realización de Inventarios Energéticos y Medioambientales	95
Fig 25.	Metodología para el cálculo de Inventario Energético y Medioambiental	96
Fig 26.	Ficha para la toma de datos de vehículos	101
Fig 27.	Ficha de toma de datos para la plantilla	102
Fig 28.	Ficha para la toma de datos de clientes	102
Fig 29.	Ficha para la toma de datos de rutas	103
Fig 30.	Registro de mantenimiento.....	104
Fig 31.	Registro de no conformidades	104
Fig 32.	Registro de costes	105
Fig 33.	Ficha de toma de datos para conductores.....	106
Fig 34.	Registro de operaciones mensuales de cada vehículo.....	107
Fig 35.	Base de Datos para caracterizar cualquier flota de vehículos	112

Fig 36.	Metodología de desarrollo de métodos de estimación de consumo energético aplicados a flotas de transporte	118
Fig 37.	Cálculo de consumos energéticos en flotas de transporte.....	120
Fig 38.	Clasificación de flota de transporte.....	121
Fig 39.	Cálculo de consumos energéticos y emisiones contaminantes en flotas de transporte.....	124
Fig 40.	Caracterización de la flota de vehículos – herramienta EXCEL.....	129
Fig 41.	Caracterización vehículos de gasolina – herramienta EXCEL.....	129
Fig 42.	Caracterización vehículos diesel pesados rígidos – herramienta EXCEL	130
Fig 43.	Metodología para la Estimación del Impacto Energético y Medioambiental por la Implantación de Medidas de Mejora.....	131
Fig 44.	Caracterización de medidas de mejora para vehículos pesados rígidos – herramienta EXCEL	134
Fig 45.	Clasificación y presión de neumáticos	135
Fig 46.	Mejoras aerodinámicas.....	136
Fig 47.	Ahorro de Consumo Energético para vehículos diesel pesados rígidos– herramienta EXCEL	138
Fig 48.	Ahorro de Consumo Medioambiental para vehículos diesel pesados ligeros– herramienta EXCEL	145
Fig 49.	Efecto de reducción de biodiesel con respecto a vehículos diesel.....	151
Fig 50.	Límites de emisiones de NO _x para GN, obtención valor de referencia	153
Fig 51.	Porcentajes de reducción para NO _x y GN – vehículos diesel pesados rígidos	153
Fig 52.	Límites de emisiones de CO para GN, obtención valor de referencia.....	154
Fig 53.	Porcentajes de reducción para CO y GN – vehículos pesados rígidos	154
Fig 54.	Límites de emisiones de COV para GN, obtención valor de referencia	155
Fig 55.	Porcentajes de reducción para COV y GN – vehículos pesados rígidos	155
Fig 56.	Condiciones de caracterización de flota supuestos para la obtención de % de reducción para GN y Autogás	156
Fig 57.	Resultado de emisiones para cada condición y media – vehículos diesel pesados rígidos de 3,5 – 7,5 Tn	157
Fig 58.	Emisiones medias vehículos diesel pesados rígidos (3,5-7 Tn)	157
Fig 59.	Obtención de emisiones de NO _x para GN (3,5-7 Tn)	158
Fig 60.	Obtención de emisiones de NO _x para GN (14-20 Tn)	158
Fig 61.	Obtención de emisiones de CO para GN (3,5-7 Tn).....	159
Fig 62.	Obtención de emisiones de CO para GN (14-20 Tn).....	159
Fig 63.	Obtención de emisiones de COV para GN (3,5-7 Tn).....	160
Fig 64.	Obtención de emisiones de COV para GN (14-20 Tn).....	160
Fig 65.	Emisiones de GN y NO _x – vehículos diesel ligeros.....	161
Fig 66.	Evolución límites de emisión de NO _x comparando vehículos diesel ligeros con GN	162
Fig 67.	Porcentajes de reducción vehículos de gasolina.....	163
Fig 68.	Porcentajes de reducción vehículos diesel ligeros.....	163
Fig 69.	Porcentajes de reducción vehículos diesel pesados articulados	163
Fig 70.	Porcentaje de error cometido para vehículos diesel pesados rígidos	164

Fig 71.	Límites de emisiones de NO _x para autogás, obtención valor de referencia	165
Fig 72.	Porcentajes de reducción para NO _x y Autogás – vehículos diesel pesados rígidos.....	165
Fig 73.	Límites de emisiones de CO para autogás, obtención valor de referencia.....	166
Fig 74.	Porcentajes de reducción para CO y Autogás – vehículos pesados rígidos	166
Fig 75.	Límites de emisiones de COV para autogás, obtención valor de referencia	167
Fig 76.	Porcentajes de reducción para COV y Autogás – vehículos pesados rígidos	167
Fig 77.	Porcentajes de reducción vehículos de gasolina.....	168
Fig 78.	Porcentajes de reducción vehículos diesel ligeros.....	168
Fig 79.	Porcentajes de reducción vehículos diesel pesados articulados	168
Fig 80.	Porcentaje de error cometido para vehículos diesel pesados rígidos	169
Fig 81.	Porcentajes de reducción para el GN.....	169
Fig 82.	Porcentajes de reducción para el Autogás.....	170
Fig 83.	Ficha de descripción de medidas	172
Fig 84.	Metodología para el Sistema de Seguimiento de Medidas de Mejora.....	173
Fig 85.	Sistema de Seguimiento y Evaluación basado en Indicadores	176
Fig 86.	Indicadores Clave de Rendimiento	182
Fig 87.	Ámbito territorial de la Mancomunidad de Los Alcores	223
Fig 88.	Ámbito territorial de la Mancomunidad de Los Alcores (II)	223
Fig 89.	Caracterización 1 herramienta EXCEL flota de vehículos recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra	235
Fig 90.	Caracterización 2 herramienta EXCEL flota de vehículos recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra	236
Fig 91.	Caracterización 3 herramienta EXCEL flota de vehículos recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra	236
Fig 92.	Inventario Energético de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 1	236
Fig 93.	Inventario Medioambiental de emisiones de GEI de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 1	237
Fig 94.	Inventario Medioambiental de emisiones de Contaminantes Primarios de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 1	237
Fig 95.	Resumen Inventario Energético y Medioambiental de la flota de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 1	237
Fig 96.	Inventario Energético de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 2	238
Fig 97.	Inventario Medioambiental de emisiones de GEI de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 2.....	238
Fig 98.	Inventario Medioambiental de emisiones de Contaminantes Primarios de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 2	238
Fig 99.	Resumen Inventario Energético y Medioambiental de la flota de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 2.....	239
Fig 100.	Inventario Energético de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 3	239
Fig 101.	Inventario Medioambiental de emisiones de GEI de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 3.....	239

Fig 102.	Inventario Medioambiental de emisiones de Contaminantes Primarios de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 3	240
Fig 103.	Resumen Inventario Energético y Medioambiental de la flota de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra para caracterización 3	240
Fig 104.	Inventario Energético de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra.....	240
Fig 105.	Inventario Medioambiental de emisiones de GEI de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra	241
Fig 106.	Inventario Medioambiental de emisiones de Contaminantes Primarios de la flota de vehículos de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra	241
Fig 107.	Resumen Inventario Energético y Medioambiental de la flota de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra.....	241
Fig 108.	Inventario Energético de la flota de vehículos de recogida de papel y cartón en el municipio de Alcalá de Guadaíra.....	242
Fig 109.	Inventario Medioambiental de emisiones de GEI de la flota de vehículos de recogida de papel y cartón en el municipio de Alcalá de Guadaíra.....	243
Fig 110.	Inventario Medioambiental de emisiones de Contaminantes Primarios de la flota de vehículos de recogida de papel y cartón en el municipio de Alcalá de Guadaíra	243
Fig 111.	Resumen Inventario Energético y Medioambiental de la flota de recogida de papel y cartón en el municipio de Alcalá de Guadaíra	243
Fig 112.	Inventario Energético de la flota de vehículos de recogida de orgánica en el municipio de Alcalá de Guadaíra.....	244
Fig 113.	Inventario Medioambiental de emisiones de GEI de la flota de vehículos de recogida de orgánica en el municipio de Alcalá de Guadaíra	245
Fig 114.	Inventario Medioambiental de emisiones de Contaminantes Primarios de la flota de vehículos de recogida de orgánica en el municipio de Alcalá de Guadaíra.....	245
Fig 115.	Resumen Inventario Energético y Medioambiental de la flota de recogida de orgánica en el municipio de Alcalá de Guadaíra.....	245
Fig 116.	Inventario Agregado Energético de la flota de vehículos de RSU en el municipio de Alcalá de Guadaíra	246
Fig 117.	Inventario Agregado Medioambiental de emisiones de GEI de la flota de vehículos de RSU en el municipio de Alcalá de Guadaíra	246
Fig 118.	Inventario Agregado Medioambiental de emisiones de Contaminantes Primarios de la flota de vehículos de RSU en el municipio de Alcalá de Guadaíra	246
Fig 119.	Resumen Inventario Agregado Energético y Medioambiental de la flota de RSU en el municipio de Alcalá de Guadaíra.....	247
Fig 121.	Ruta normal A1E: Ruta de Recogida Lateral de Envases Alcalá Norte	255
Fig 122.	Ruta optimizada A1E: Ruta de Recogida Lateral de Envases Alcalá Norte	255
Fig 123.	Ruta normal A2E: Ruta de Recogida Lateral de Envases Alcalá Sur.....	256
Fig 124.	Ruta optimizada A2E: Ruta de Recogida Lateral de Envases Alcalá Sur	257
Fig 125.	Ruta normal A1.1P: Ruta de Recogida Superior de Papel y Cartón Alcalá Norte 1	258
Fig 126.	Ruta optimizada A1.1P: Ruta de Recogida Superior de Papel y Cartón Alcalá Norte 1	258
Fig 127.	Ruta normal A1.2P: Ruta de Recogida Superior de Papel y Cartón Alcalá Norte 2	260
Fig 128.	Ruta optimizada A1.2P: Ruta de Recogida Superior de Papel y Cartón Alcalá Norte 2.....	260
Fig 129.	Ruta normal A5O: Ruta de Recogida Trasera de Orgánicos Alcalá.....	261
Fig 130.	Ruta optimizada A5O: Ruta de Recogida Trasera de Orgánicos Alcalá	262

Fig 131.	Potencial ahorro anual por la sustitución de neumáticos eficientes en el camión 4470-BDV	264
Fig 132.	Potencial ahorro anual por las mejoras aerodinámicas en el camión 4470-BDV	264
Fig 133.	Potencial ahorro anual por formación básica en conducción eficiente y segura al conductor del vehículo 4470-BDV	265

Índice de Tablas

Tabla 1.	Análisis de la información relativa a las Rutas.....	22
Tabla 2.	Análisis de la información relativa al Dimensionado de la Flota.....	24
Tabla 3.	Análisis de la información relativa a la Gestión de Mantenimiento.....	26
Tabla 4.	Análisis de la información relativa a la Formación de Empleados.....	27
Tabla 5.	Rango de velocidades según tipo de conducción.....	60
Tabla 6.	Clasificación de vehículos de la Guía CORINAIR – Passenger Cars.....	62
Tabla 7.	Clasificación de vehículos de la Guía CORINAIR – Light Duty Vehicles.....	63
Tabla 8.	Clasificación de vehículos de la Guía CORINAIR – Heavy Duty Vehicles.....	63
Tabla 9.	Clasificación de vehículos de la Guía CORINAIR – Buses.....	64
Tabla 10.	Clasificación de vehículos de la Guía CORINAIR – Mopeds / Motorcycles.....	64
Tabla 11.	Funciones de los factores de consumo de combustible (g/km) para vehículos pesados rígidos diesel (sin pendiente y sin carga).....	67
Tabla 12.	Valores de ratios H/C y de O/C en función del tipo de combustible.....	69
Tabla 13.	Funciones de los factores de emisión de NO _x (g NO _x /km) para vehículos pesados rígidos diesel (sin pendiente y 50 % carga).....	70
Tabla 14.	Funciones de los factores de emisión de COV (g CH _{1.85} /km) para vehículos pesados rígidos diesel (sin pendiente y 100 % carga).....	71
Tabla 15.	Factores de emisión de CH ₄ (mg CH ₄ /km) para vehículos pesados y autobuses.....	72
Tabla 16.	Factores de emisión de metales pesados (g/km).....	72
Tabla 17.	Funciones de los factores de emisión de CO (g CO/km) para vehículos pesados rígidos diesel (sin pendiente y 0 % carga).....	73
Tabla 18.	Funciones de los factores de emisión de PM (g PM/km) para vehículos pesados rígidos diesel (sin pendiente y 50 % carga).....	74
Tabla 19.	Funciones de los factores de emisión de N ₂ O (g N ₂ O/km) para vehículos pesados.....	74
Tabla 20.	Potencial de Calentamiento Global de los principales gases de efecto invernadero [PIK2012].....	78
Tabla 21.	Medidas de Mejora para los diferentes ámbitos de actuación.....	86
Tabla 22.	Metodología para la obtención de información.....	98
Tabla 23.	Herramientas para la obtención de información.....	99
Tabla 24.	Origen de la información a obtener y frecuencia de la toma de datos.....	108
Tabla 25.	Descripción de datos a obtener según tipología de ficha o registro.....	110
Tabla 26.	Parámetros fundamentales de cálculo de Inventarios.....	110
Tabla 27.	Ejemplo de Base de Datos.....	114
Tabla 28.	Ejemplo de Detección de Inconsistencias y Errores.....	117
Tabla 29.	Medidas de mejora consideradas en la herramienta utilizada.....	132
Tabla 30.	Parámetros a modificar en determinadas medidas de mejora.....	134
Tabla 31.	Factores de ahorro en L/100 km para vehículos rígidos de hasta 12 Tn.....	141
Tabla 32.	Factores de ahorro en L/100 km para vehículos rígidos de más de 12 Tn.....	141
Tabla 33.	Factores de ahorro en L/100 km para vehículos articulados.....	142

Tabla 34. Factores de ahorro en L/100 km para mejoras aerodinámicas	143
Tabla 35. Factores de ahorro en L/100 km para formación en conducción eficiente	144
Tabla 36. Factores de ahorro en g/100 km para vehículos rígidos de hasta 12 Tn	147
Tabla 37. Factores de ahorro en g/100 km para vehículos rígidos de más de 12 Tn	148
Tabla 38. Factores de ahorro en g/100 km para vehículos articulados	148
Tabla 39. Ahorro de CO ₂ (g/100 km) para cada par de tipos de neumáticos	149
Tabla 40. Ahorro de CO ₂ (g/100 km) para cada par de tipos de neumáticos	150
Tabla 41. Límites de emisión para vehículos pesados rígidos GN	152
Tabla 42. Mejora respecto a Euro V para cada contaminante en GN (%).....	152
Tabla 43. Indicadores de Operaciones – “Dimensionado de la Flota (I)”	184
Tabla 44. Indicadores de Operaciones – “Dimensionado de la Flota (II)”.....	185
Tabla 45. Indicadores de Operaciones – “Dimensionado de la Flota (III)”	186
Tabla 46. Indicadores de Operaciones – “Mantenimiento (I)”	187
Tabla 47. Indicadores de Operaciones – “Mantenimiento (II)”	188
Tabla 48. Indicadores de Operaciones – “Calidad de Servicio”	189
Tabla 49. Indicadores de Operaciones – “Rutas (I)”	190
Tabla 50. Indicadores de Operaciones – “Rutas (II)”	191
Tabla 51. Indicadores de Operaciones – “Rutas (III)”	192
Tabla 52. Indicadores de Operaciones – “Rutas (IV)”	193
Tabla 53. Indicadores de Operaciones – “Rutas (V)”	194
Tabla 54. Indicadores de Operaciones – “Rutas (VI)”	195
Tabla 55. Indicadores de Operaciones – “Rutas (VII)”	196
Tabla 56. Indicadores de Operaciones – “No Conformidades (I)”	197
Tabla 57. Indicadores de Operaciones – “No Conformidades (II)”	198
Tabla 58. Indicadores Energéticos (I).....	201
Tabla 59. Indicadores Energéticos (II)	202
Tabla 60. Indicadores Medioambientales (I)	204
Tabla 61. Indicadores Medioambientales (II)	205
Tabla 62. Indicadores Medioambientales (III).....	206
Tabla 63. Indicadores Medioambientales (IV)	207
Tabla 64. Indicadores Medioambientales (V).....	208
Tabla 65. Indicadores Medioambientales (VI)	209
Tabla 66. Indicadores Medioambientales (VII).....	210
Tabla 67. Indicadores Económicos (I).....	212
Tabla 68. Indicadores Económicos (II)	213
Tabla 69. Indicadores Económicos (III)	214
Tabla 70. Indicadores Económicos (IV).....	215
Tabla 71. Indicadores Económicos (V)	216
Tabla 72. Indicadores Económicos (VI).....	217
Tabla 73. Indicadores Económicos (VII).....	218

Tabla 74. Indicadores Económicos (VIII)	219
Tabla 75. Indicadores Económicos (IX).....	220
Tabla 76. Toneladas de residuos recogidas en Alcalá de Guadaíra durante el año 2011.....	225
Tabla 77. Tabla de vehículos de RSU de la Mancomunidad Los Alcores	226
Tabla 78. Tabla de vehículos de RSU de la Mancomunidad Los Alcores (II)	227
Tabla 79. Rutas de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra	229
Tabla 80. Características de las rutas de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra ..	229
Tabla 81. Rutas de recogida de papel y cartón en el municipio de Alcalá de Guadaíra	230
Tabla 82. Características de las rutas de recogida de papel y cartón en el municipio de Alcalá de Guadaíra	230
Tabla 83. Frecuencia de los recorridos de recogida de residuos orgánicos en urbanizaciones de Alcalá de Guadaíra	231
Tabla 84. Características de la Planta de Recuperación y Compostaje de Montemarta-Cónica	231
Tabla 85. Rutas de recogida de orgánica en el municipio de Alcalá de Guadaíra	233
Tabla 86. Características de las rutas de recogida de orgánica en el municipio de Alcalá de Guadaíra ..	233
Tabla 87. Inventario Energético y Medioambiental actual total de la flota de recogida de envases en el municipio de Alcalá de Guadaíra.....	242
Tabla 88. Inventario Energético y Medioambiental actual total de la flota de recogida de papel y cartón en el municipio de Alcalá de Guadaíra	244
Tabla 89. Inventario Energético y Medioambiental actual total de la flota de recogida orgánica en el municipio de Alcalá de Guadaíra.....	245
Tabla 90. Kg/hab y año generados en 2011 en los municipios pertenecientes a la Mancomunidad	248
Tabla 91. Evolución interanual de la tasa de recogida de residuos en el municipio de Dos Hermanas..	248
Tabla 92. Evolución tendencial del servicio de recogida de residuos en los municipios de la Mancomunidad	250
Tabla 93. Resumen Inventario Energético y Medioambiental real en el municipio de Alcalá de Guadaíra	251
Tabla 94. Resumen Inventario Energético y Medioambiental calculado con la herramienta en el municipio de Alcalá de Guadaíra.....	251
Tabla 95. Error cometido con la metodología diseñada para el cálculo del Inventario Energético y Medioambiental	252
Tabla 96. Medidas de Mejora contempladas en la metodología diseñada	253
Tabla 97. Ruta A1E	254
Tabla 98. Ruta A1E optimizada	254
Tabla 99. Impacto ruta A1E optimizada con herramienta	255
Tabla 100. Ruta A2E	256
Tabla 101. Ruta A2E optimizada	256
Tabla 102. Impacto ruta A2E optimizada con herramienta	257
Tabla 103. Ruta A1.1P	257
Tabla 104. Ruta A1.1P optimizada	258
Tabla 105. Impacto ruta A1.1P optimizada con herramienta	259
Tabla 106. Ruta A1.2P	259
Tabla 107. Ruta A1.2P optimizada	259

Tabla 108. Impacto ruta A1.2P optimizada con herramienta	260
Tabla 109. Ruta A5O.....	261
Tabla 110. Ruta A5O optimizada.....	261
Tabla 111. Impacto ruta A5O optimizada con herramienta.....	262
Tabla 112. Datos de ahorro al implantar un Plan de Gestión de Combustible para la flota real	263
Tabla 113. Datos de ahorro al implantar un Plan de Gestión de Combustible obtenidos con la herramienta diseñada	263
Tabla 114. Datos de la implantación de biodiesel B30 como combustible alternativo.....	266
Tabla 115. Datos de la implantación de biodiesel B10 como combustible alternativo en la herramienta	266
Tabla 116. Datos de la implantación de Gas Natural como combustible alternativo en la herramienta (I)	267
Tabla 117. Datos de la implantación de Gas Natural como combustible alternativo en la herramienta (II)	267
Tabla 118. Datos de la implantación de Autogás como combustible alternativo en la herramienta (I)....	268
Tabla 119. Datos de la implantación de Autogás como combustible alternativo en la herramienta (II) ..	268
Tabla 120. Comparativa optimización de la ruta A1E	269
Tabla 121. Cálculo del error utilizando la herramienta EXCEL para optimización ruta A1E	269
Tabla 122. Comparativa optimización de la ruta A2E	270
Tabla 123. Cálculo del error utilizando la herramienta EXCEL para optimización ruta A2E	270
Tabla 124. Comparativa optimización de la ruta A1.1P.....	270
Tabla 125. Cálculo del error utilizando la herramienta EXCEL para optimización ruta A1.1P	271
Tabla 126. Comparativa optimización de la ruta A1.2P.....	271
Tabla 127. Cálculo del error utilizando la herramienta EXCEL para optimización ruta A1.2P	271
Tabla 128. Comparativa optimización de la ruta A5O para el vehículo 5010-GDW	272
Tabla 129. Cálculo del error utilizando la herramienta EXCEL para optimización ruta A5O.....	272
Tabla 130. Cálculo del error utilizando la herramienta EXCEL para Plan de Gestión de Combustible ..	272
Tabla 131. Comparativa optimización vehículo 4470-BDV con la incorporación de B10.....	273
Tabla 132. Comparativa optimización vehículo 9595-DTZ con la incorporación de B10	273
Tabla 133. Comparativa optimización vehículo 5010-GDW con la incorporación de B10.....	274
Tabla 134. Cálculo del error utilizando la herramienta EXCEL para optimización vehículo 4470-BDV	274
Tabla 135. Cálculo del error utilizando la herramienta EXCEL para optimización vehículo 9595-DTZ	274
Tabla 136. Cálculo del error utilizando la herramienta EXCEL para optimización vehículo 5010-GDW	275
Tabla 137. Normas y disposiciones más relevantes en el ámbito Europeo para la gestión de flotas (I)...	291
Tabla 138. Normas y disposiciones más relevantes en el ámbito Europeo para la gestión de flotas (I)...	292
Tabla 139. Normas y disposiciones más relevantes en el ámbito Español para la gestión de flotas	293
Tabla 140. Otra normativa de interés relacionada con la gestión de flotas	294

