

Medio ambiente, energía y transporte

PORTAL
MATERIAL DIDÁCTICO DE TRANSPORTE

Material escrito 2003



Para el uso del siguiente material:

El objetivo de PORTAL es acelerar el análisis de los resultados de investigación de la UE en el ámbito del transporte regional y local mediante el desarrollo de nuevos cursos de formación y material docente. Los beneficiarios del proyecto son las instituciones educativas de enseñanza superior.

Debido al tamaño y, en algunos casos, a la gran cantidad de proyectos individuales, no es posible exponer con detalle ni incluir en este documento cada una de las conclusiones obtenidas.

De hecho, el siguiente material actuaría más bien como un PORTAL, facilitando el acceso de aquellas personas dedicadas a la docencia a proyectos individuales y a conclusiones detalladas.

Por tanto, este material no intenta ser un documento completo y cerrado.

Puesto que las expectativas de los profesores sobre estos trabajos son bastante diversas – desde “ofrecer un estudio sobre los resultados de investigación de la UE sobre un tema determinado”, hasta “la exposición detallada de los resultados específicos de un proyecto de investigación en concreto” – se ha intentado llegar a un acuerdo y cumplir en mayor o menor medida las expectativas de todos los grupos de usuarios.

El siguiente compendio contiene los resultados de los proyectos de investigación de la UE y los resultados complementarios de los proyectos elaborados por distintos países. PORTAL da las gracias a los socios y colaboradores de los proyectos que se citan más abajo. Al final del documento se ofrece una lista completa de los proyectos, consorcios y bibliografía citada.

El material con los resultados del proyecto usado para la elaboración del tema “**Medio ambiente, Energía y Transporte**” fue recopilado por Sergio Mitrovich (ENEA – Ente per le Nuove tecnologie, l’Energia e l’Ambiente) en el año 2001 y adaptado tras un seminario en el 2002.

COST Acción 319

MEET

COMMUTE

ARTEMIS

Índice

1. Introducción	4
1.1 Definición	4
1.2 Objetivos y cualificaciones	5
1.3 Metas	6
1.4 Relación con las Políticas de la UE	6
Política de transporte de la UE - ¿qué dice acerca del Medio Ambiente, la Energía y el Transporte?	6
2. Contenidos	9
2.1 Impactos medioambientales originados por el transporte	10
Métodos para calcular el consumo de energía y las emisiones producidas	12
Herramientas para recopilar datos acerca del tráfico rodado	13
2.2 Estimación de las emisiones contaminantes producidas por el tráfico urbano	14
Principios básicos	14
Modelos de emisiones producidas por el transporte por carretera	18
Clasificación de vehículos	23
Composición del Tráfico Rodado	24
2.3 Emisiones en caliente	30
Ecuaciones básicas según el método MEET	30
Factores de emisión en caliente para utilitarios y vehículos de carga ligera	31
Factores de emisión en caliente para vehículos de carga pesada (VCP)	32
Ciclomotores y motocicletas	33
Otros parámetros que influyen en las emisiones en caliente	34
2.4 Emisiones extras producidas en el arranque	35
Fórmula general para calcular el exceso de emisiones de arranque producidas durante el trayecto	36
Otros tipos de vehículo	38
2.5 Pérdidas por evaporación	39
2.6 Combustibles alternativos y nuevas tecnologías	43
Carburantes mejorados – los que ya están en uso y los que estarán disponibles en un futuro próximo	43
Nuevas categorías de vehículos	44
Avances tecnológicos en el mundo del automóvil	47
Combustibles alternativos	51
3. Ejemplos y Ejercicios	54
3.1 Ejemplo de ejercicio de cálculo de las emisiones extras producidas durante el proceso de encendido	54
3.2 Otras aplicaciones prácticas	54
4. Bibliografía	55
5. Glosario	60
6. Medio ambiente, energía y transporte – Los consorcios de los proyectos	62

1. Introducción

1.1 Definición

En el tema “*Medio ambiente, Energía y Transporte*” se trata la relación existente entre el transporte regional y local, el consumo de energía y el consecuente impacto medioambiental que ocasiona. Especial atención se prestará al tema del tráfico rodado.

Según esta definición, el tema en cuestión debería tratar los siguientes asuntos:

- Métodos de estimación de las emisiones contaminantes producidas por el tráfico rodado y de su consumo de energía;
- Principales parámetros en los que influyen las emisiones contaminantes y el consumo de energía;
- Modelos de emisión y paquetes de medidas relacionados con ellos;
- Métodos de recopilación de datos y estimación de emisiones para todo un ciclo de duración;
- Medidas para reducir las emisiones y el consumo de energía;
- Evaluación del impacto medioambiental y de los futuros escenarios del sistema de transporte.

Sin embargo, el tema, según se ha definido más arriba, es demasiado amplio como para poder tratar todos estos asuntos en profundidad. Teniendo en cuenta que, según el resultado del WP1, y según las especificaciones y la información que hemos recibido, - los estudiantes universitarios van a ser los principales usuarios de este material - , y que ya están disponibles una serie de módulos formativos que ofrecen información general acerca de los temas mencionados, se tomó la decisión de, en lugar de ofrecer información general acerca de todos estos temas, seleccionar los más interesantes y tratarlos en profundidad. De entre todos los temas mencionados, los cuatro primeros se han considerado como los de mayor utilidad.

Por lo tanto, este material centra su atención en los métodos de estimación de las emisiones contaminantes y del consumo de energía causados por el tráfico rodado, y se basa principalmente en la información obtenida de los proyectos MEET/COST Acción 349 y COMMUTE.

En cuanto a los dos últimos puntos (medidas de reducción de las emisiones contaminantes y métodos de evaluación), estos no se incluyen en el apartado 2 (Contenidos) aunque sí que se hace alguna referencia a los resultados más interesantes obtenidos por los algunos importantes proyectos de la UE (Cantique, Fantasie, Jupiter, etc.) que investigaron estos temas.

Este tema guarda relación también con los siguientes asuntos:

- “*Gestión de la Movilidad*”, “*Transporte urbano de mercancías*” y “*Economía y tarifas*” que afectan a la demanda del tráfico y a sus características;
- “*Modelización y análisis de datos*” que afecta a los modelos de movilidad, de emisiones contaminantes, de consumo de energía y de dispersión de contaminantes en la atmósfera;
- Influencias en la cadena de efectos, incluyendo los efectos que la contaminación atmosférica tiene sobre la salud de la población en general y sobre el medio ambiente.

1.2 Objetivos y cualificaciones

Los objetivos del módulo formativo al que se hace referencia a continuación guardan relación con los temas seleccionados en el apartado anterior, punto 1.1. Justo al comienzo del módulo formativo “*Medio Ambiente, Energía y Transporte*”, los estudiantes deben ser informados acerca de la gravedad de la problemática medioambiental originada por el transporte urbano, especialmente en las grandes ciudades y en áreas densamente habitadas; por tanto, será necesario invertir algún tiempo en especificar los grandes daños causados por el tráfico, en especial, por el transporte privado por carretera, a la salud del ser humano y al medio ambiente, tanto a nivel regional como a nivel global.

Los estudiantes deberán obtener conocimientos sobre:

- los actuales métodos científicos de estimación de las emisiones contaminantes y del consumo de energía ocasionados por el transporte local y urbano;
- una serie de métodos para la evaluación de los niveles de contaminación y consumo de energía, aceptados por la mayoría de los expertos en toda Europa y, posiblemente también, en otras zonas;
- las principales herramientas para hacer inventario de las emisiones evaluadas, las bases de datos disponibles y los programas informáticos que se pueden utilizar para tal fin;
- las nuevas tecnologías (combustible alternativo y vehículos del futuro) encaminadas a reducir las emisiones contaminantes y el consumo de energía producidas por el tráfico en áreas urbanas, así como las nuevas tendencias para el futuro.

Los estudiantes deberán obtener también una serie de cualificaciones de carácter práctico, con el fin de ser capaces de utilizar los conocimientos adquiridos para dar consejo o asesoramiento directo acerca de las cuestiones mencionadas a los distintos organismos de una ciudad.

Y, sobre todo, al finalizar el módulo formativo, los estudiantes deberán ser capaces de llevar a cabo una serie de aplicaciones prácticas que han sido elaboradas por el método MEET para la estimación de las emisiones contaminantes y el consumo de energía del tráfico rodado.

1.3 Metas

La meta fijada por la UE en relación a este tema es la reducción de las emisiones contaminantes y el consumo de energía derivados de las actividades relacionadas con el sector del transporte, con el fin de evitar o reducir el consiguiente impacto medioambiental (principalmente, la contaminación atmosférica en las áreas urbanas, y sus efectos sobre la salud pública y sobre el entorno local y regional, y la producción de gases con efecto invernadero) sin que ello afecte al crecimiento económico de la zona.

En otras palabras, la meta fijada no es sino lograr un sistema de transporte sostenible. Para lograr este objetivo de carácter general se han establecido una serie de objetivos más específicos para los próximos 5 años:

- Establecimiento de estándares más restrictivos sobre la calidad del aire;
- Introducción en el mercado de nuevos y mejores carburantes, menos contaminantes, según las nuevas especificaciones sobre el medio ambiente;
- Introducción en el mercado de vehículos menos contaminantes, según el estándar actual sobre las emisiones contaminantes, que tiene un carácter más restrictivo;
- Estandarización y regulación, en todos los estados miembros de la UE, de los sistemas de recopilación de datos y de elaboración de estudios estadísticos sobre el tráfico;
- Realización de más estudios de investigación, con el fin de mejorar las bases de datos sobre los factores de emisión, sobre determinados grupos de vehículos (ej., VCP, Ciclomotores), así como sobre una serie de sustancias contaminantes (ej. partículas volátiles, olores producidos por los distintos medios de transporte), sobre los que aún no existen demasiados datos.
- Realización de más estudios de investigación acerca de modelos de estimación basados en la medición instantánea de las emisiones contaminantes producidas por un vehículo, y cuyos datos se pueden utilizar para establecer perfiles de aceleración, para crear mapas de emisiones y patrones de conducción.

1.4 Relación con las Políticas de la UE

Política de transporte de la UE - ¿qué dice acerca del Medio Ambiente, la Energía y el Transporte?

En la mayoría de los documentos publicados por la Comisión Europea que apoyan una política común europea de transporte (por no decir en todos), se les ha concedido gran importancia a los problemas medioambientales y al tema del consumo de energía, (seguidos de cerca por el drástico aumento de la congestión del tráfico), y se reconoce, además, el importante papel que el tráfico urbano y regional juegan en estos temas. Por lo tanto, ofrecer una panorámica global de todas las propuestas estratégicas que se han hecho sobre estos temas sería una tarea demasiado larga y que no compete a este documento. En lugar de eso, nos limitaremos a presentar de forma

general los enfoques que aparecen en diversos documentos oficiales acerca de estos temas. Para completar el resto de contenidos de este documento se prestará especial atención a distintos métodos de estimación de los impactos medioambientales y al papel que dichos métodos han desempeñado durante la última década en la creación de una política de transporte común para toda Europa.

En el año 1990 se publica el libro verde, *Sobre el Medio Ambiente en el Área Urbana*, COM(90)218. En él se constata que, en el pasado, las industrias y los sistemas de calefacción eran responsables de gran parte de los problemas de contaminación atmosférica en las áreas urbanas pero, que el aumento desmedido de la contaminación se debe a la aparición de nuevas tecnologías. En el caso del tráfico es distinto, puesto que el desarrollo tecnológico – encaminado a reducir las emisiones – intenta compensar el drástico incremento de las ventas de coches y el aumento del tráfico con respecto a los índices totales de emisiones contaminantes.

Otro de los temas que se discuten en el libro *Sobre el Medio Ambiente en el Área Urbana*, y que resulta de importancia para este documento, es la estimación de la emisión de contaminantes atmosféricos, así como la falta de un estándar común para la recogida y medida de datos acerca de las emisiones contaminantes y de la calidad del aire. La no existencia de tales estándares es un hecho que dificulta, por ejemplo, la apropiada evaluación de los efectos que las directrices seguidas en la UE han podido tener sobre el medio ambiente en el pasado, o podrán tener en el futuro. Tales directrices tratan asuntos tales como, por ejemplo, los niveles de concentración de contaminantes permitidos, los estándares de emisión para los vehículos, las nuevas tecnologías en cuanto a carburantes, etc

Un nuevo libro verde - que no sólo trata los problemas medioambientales en el área urbana - *Los Efectos del Transporte sobre el Medio Ambiente*, COM(92)46, se publicó en 1992. Este nuevo libro se elaboró como respuesta a una resolución tomada por el Parlamento Europeo en 1991 en la que el Parlamento “*pide a la Comisión que presente ante el Consejo un programa ‘marco’ cuyo fin sea conseguir una protección más eficaz del medio ambiente dentro del mercado europeo de transporte*”. Se formula entonces una estrategia que persigue la introducción de tecnologías más limpias. En esta estrategia se combinan objetivos para el futuro y se establecen las fechas para la entrada en vigor obligatoria de las nuevas tecnologías de baja emisión, con iniciativas de tipo fiscal para estimular a particulares y a la industria en general a que se acojan a estas nuevas alternativas antes de la fecha fijada. Se debate, también, el papel que juega el modo en que se utilizan los vehículos en la producción de las emisiones. Esto se lleva a cabo admitiendo, en primer lugar, la importancia que tiene la variación en el índice de ocupación de los vehículos (que puede ser, por ejemplo, de una sola persona durante determinados periodos), y proponiendo, en segundo lugar, límites de velocidad que resulten respetuosos con el medio ambiente.

A pesar de que se centra específicamente en el transporte público, el libro verde *La red del ciudadano*, COM(95)601, publicado en 1995, trata también algunas iniciativas de carácter más general para reducir los efectos medioambientales que ocasiona el tráfico. Una de estas iniciativas es la proposición de una serie de directrices de carácter general para conseguir índices de calidad del aire satisfactorios, mediante la imposición de nuevos y más reducidos valores para aquellas sustancias contaminantes cuyas tasas permitidas ya estaban establecidos con anterioridad, y la introducción de valores a alcanzar para una lista más amplia de sustancias contaminantes.

En el libro verde *Hacia unas Tarifas de Transporte Justas y Eficientes* COM(95)691, se debaten diferentes métodos para conseguir que los costes reales del transporte resulten más accesibles para el usuario. Como parte de la argumentación que se hace en este libro, se debate el papel de distintos puntos ajustables en la reducción de las emisiones. Mediante la limitación legislativa de los estándares de emisión para condiciones de conducción normales, se ha conseguido una

sustancial reducción de las emisiones. Sin embargo, según el enfoque que defiende el establecimiento de precios marginales, el método “más adecuado” para conseguir tales reducciones en las emisiones incluiría incentivos para aquellos usuarios que variaran las emisiones a través del tubo de escape de los vehículos mediante, por ejemplo, un cambio de comportamiento ante el volante (elección de la velocidad adecuada). Sin embargo, de momento este método no se puede desarrollar debido a problemas técnicos.

De la misma manera que otros documentos publicados con anterioridad, el libro blanco *Política Europea de Transporte para el 2010: tiempo de tomar decisiones*, COM(2001) 370, publicado recientemente, presta especial atención a la problemática medioambiental y, en especial, a la calidad del aire. Como ha sucedido en el debate público generado alrededor de este mismo tema, el foco de atención principal se ha desplazado desde las sustancias contaminantes de importancia en el área local, hasta la amenaza global del efecto invernadero. Es necesario conseguir la reducción de las emisiones de este tipo y, para ello, el libro blanco propone reducir en un 25% las emisiones de dióxido de carbono producidas por el tráfico rodado antes del año 2008.

Para lograr este objetivo, se propone hacer uso de una estrategia combinada, que incluya tanto la colaboración con las industrias, como la gestión de la velocidad con el fin de reducir el consumo de energía, además de utilizar otras medidas encaminadas a reducir el número de kilómetros recorridos por un vehículo.

2. Contenidos

Como ya se ha mencionado en la introducción, los siguientes contenidos se centran en los distintos métodos de estimación del consumo de energía y de emisiones contaminantes producidas por el tráfico urbano.

Los trabajos de investigación más recientes llevados a cabo en Europa acerca del consumo de energía y de las emisiones contaminantes producidas por el tráfico son los llamados COST 319 y MEET.

COST 319 es un trabajo de investigación que trata sobre “La estimación de las emisiones contaminantes producidas por el transporte”, mientras que MEET es un proyecto que se incluye en el 4º Programa de Transporte RTD y que trata sobre “Métodos para la estimación de emisiones producidas por el tráfico”. Por lo tanto, el método MEET fue elegido de entre todos los métodos disponibles para profundizar más en el tema y ofrecer una descripción más detallada del mismo, que es, precisamente, lo que los estudiantes necesitan para poder llevar a cabo una aplicación práctica de lo aprendido.

En consecuencia, la mayoría de los contenidos que se citan a continuación, así como todas las tablas y gráficos (exceptuando algunos de ellos) proceden del Informe Final, (Deliverable 22) del Proyecto MEET, llevado a cabo en colaboración con el proyecto COST, Acción 319, “Métodos para calcular las emisiones y el consumo de energía”, elaborado para la Comisión Europea DGVII por el Laboratorio de Investigación sobre el Transporte (Copyright TRL 1999).

Los autores de este trabajo son: J.Hickman, D. Hassel, R.Joumard, Z.Samaras, y S.Sorenson.

Algunos de los puntos incluidos en este trabajo se han combinado con material procedente del Informe Final de la Acción 319, “Estimación de las Emisiones Contaminantes producidas por el Tráfico”(2) y otros datos complementarios procederían del proyecto COST 346 y del proyecto ARTEMIS, que aún está en proceso de elaboración y que ofrece información más detallada sobre determinados temas (por ejemplo, sobre las emisiones producidas por los vehículos de 2 ruedas o sobre las nuevas técnicas de medición de emisiones).

Toda la bibliografía citada en este documento queda recogida en el apartado 4 del mismo.

Puesto que, por determinadas razones, y como ya se ha mencionado en la introducción, las *medidas encaminadas a reducir las emisiones contaminantes y los distintos métodos para la evaluación de las nuevas tecnologías del transporte desde el punto de vista energético/medioambiental* no se van a tratar en los siguientes apartados, sería conveniente consultar las siguientes fuentes, que están disponibles en Internet:

- CANTIQUE – (Concerted Action on Non Technical measures and their Impact on air Quality and Emissions) Acción Concertada sobre las Medidas No-Técnicas y sus Efectos sobre la Calidad del Aire y la Emisiones: Suplemento 6 (informe final);
- Jupiter 2: Suplemento 6 (vehículos y tipos de combustible);
- Fantasie – Análisis de las nuevas tecnologías y otros asuntos relacionados con el medio ambiente: informe final;
- Utopia – (Urban Transport Options for Propulsion systems and Instruments for Analysis) Opciones de Transporte Urbano para Sistemas de Propulsión e Instrumentos de Análisis: informe final.

En el suplemento del proyecto CANTIQUÉ al que se hace alusión se puede encontrar información general sobre un gran número de medidas de carácter no-técnico pensadas para reducir las emisiones producidas por el tráfico urbano, así como un extenso análisis de la eficacia de cada una de ellas, dependiendo también de las características de las ciudades en las que se pongan en práctica dichas medidas.

Se expone, también, un interesante método para su clasificación y para la evaluación desde el punto de vista coste/efectividad y coste/beneficios.

En el mencionado suplemento 6 del proyecto JUPITER 2 se expone un útil método para realizar un análisis práctico de los nuevos vehículos y combustibles, así como de los efectos sobre el medio ambiente y sobre el consumo de energía que ocasionan.

Los informes finales de los proyectos UTOPIA y FANTASIE ofrecen interesantes métodos de evaluación de nuevas tecnologías y del impacto medioambiental que producen, además de elaborar un pronóstico de los nuevos sistemas de transporte y escenarios del futuro.

2.1 Impactos medioambientales originados por el transporte

En la Unión Europea, casi un tercio de toda la energía es utilizada en transporte (285 Mtoe de un total de 992 Mtoe en el año 1995)(1). Es más, el uso de energía para el transporte va en aumento mientras que la proporción de energía destinada a otros usos permanece relativamente estable; entre 1980 y 1995, la energía destinada al uso del transporte aumentó alrededor de un 45%, mientras que la usada para fines industriales y otros propósitos decreció muy ligeramente (alrededor de un 0.5%).



Fotografía 1: Efectos de la contaminación atmosférica sobre los niños

La demanda de transporte va estrechamente unida al desarrollo económico. El transporte es un elemento muy significativo y necesario de la sociedad moderna, sin embargo, la creciente y perentoria necesidad que supone su existencia se considera, cada vez más, una pieza clave de la larga lista de efectos secundarios no deseados que origina esta sociedad. Los atascos de tráfico hacen que las ciudades resulten menos agradables y reducen la eficiencia del sistema de transporte puesto que aumentan la duración del trayecto, el consumo de combustible y el estrés del conductor.

Uno de los efectos medioambientales negativos del tráfico es su contribución a la contaminación atmosférica. Cada litro de combustible que se quema produce, aproximadamente, 100 gramos de monóxido de carbono, 20 gramos de compuestos orgánicos volátiles, 30 gramos de óxidos de nitrógeno, 2.5 kilogramos de dióxido de carbono y otra serie de sustancias que incluyen compuestos del plomo, del azufre así como partículas ligeras. Todos estos componentes están relacionados, en mayor o menor grado, con los problemas de contaminación atmosférica que causan desde efectos directos en la salud de los habitantes de una determinada ciudad, hasta consecuencias a nivel global, como es el efecto invernadero.

Sustancias contaminantes a tener en cuenta

Gran número de las sustancias producidas por las actividades relacionadas con el transporte son consideradas, generalmente, como contaminantes. Los índices de producción (es decir, los factores de emisión) de algunas de estas sustancias se han investigado detalladamente y son, por tanto, bien conocidos, mientras que acerca de otras sustancias existen datos escasos que, con frecuencia, resultan insuficientes para ser representativos de las distintas actividades desarrolladas. En consecuencia, en la actualidad es posible encontrar factores de emisión para algunas sustancias contaminantes y para ciertos tipos de vehículo fijados partiendo de una base de datos sólida, mientras que, para otra clase de vehículos, sólo es posible encontrar estimaciones acerca de la magnitud de sus factores de emisión, y sobre el resto de las sustancias existe muy poca información.



Fotografía 2: Efectos de la contaminación atmosférica sobre los monumentos

La lista general de sustancias contaminantes incluye:

- dióxido de carbono - CO₂ (la legislación aún no lo considera propiamente como una sustancia contaminante, sin embargo aquí sí lo vamos a hacer debido a su contribución a la producción del efecto invernadero);
- monóxido de carbono – CO;
- compuestos volátiles de carácter orgánico (también llamados hidrocarburos) - COV (HC);
- óxidos de nitrógeno – NO_x;
- partículas en suspensión – PS;
- dióxido de azufre - SO₂;
- compuestos de plomo – Pb;
- dióxido de nitrógeno - NO₂;
- amoníaco - NH₃;
- óxido nitroso - N₂O;
- otros metales pesados – MP (cadmio - Cd, zinc - Zn, cobre - Cu, cromo - Cr, níquel - Ni, selenio - Se);
- ácido sulfhídrico - H₂S.

Dentro de los Compuestos Volátiles de carácter Orgánico (COV) se incluye una larga lista de diferentes compuestos orgánicos que ocasionan diversos efectos sobre el medio ambiente y sobre la salud de los seres humanos; por lo tanto, es conveniente dividir estas sustancias en dos categorías distintas:

- metano - CH₄
- hidrocarburos libres de metano(HCLMCOV).

Algunos de los hidrocarburos que están libres de metano son compuestos mutágenos bien conocidos. Una conocida subcategoría de COV es la de los hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA), y otros compuestos simples como son el benceno (C₆H₆) y el butadieno - 1,3 (C₄H₆). Las partículas ligeras provocan también diferentes efectos dependiendo del tamaño de las partículas. Sería interesante, por tanto, conocer la distribución del tamaño de las PS. Además, el consumo de energía es considerado, mediante el cálculo de las sustancias contaminantes que contienen carbono, ya sea en el caso del tráfico rodado o cualquier otro tipo de transporte que no sea por carretera, como el primer parámetro a partir del cual se hace la estimación de otro tipo de emisiones.

Métodos para calcular el consumo de energía y las emisiones producidas

Como se detalla a continuación, existen varios métodos para calcular el consumo de energía y las emisiones producidas por el tráfico. Estos métodos dependen de la sustancia contaminante que se vaya a analizar, del medio de transporte y del tipo de vehículo que intervenga en el proceso; el uso determinado de uno de estos métodos, y no de otro, resulta inevitable debido a que para cada caso los datos disponibles variarán en cantidad y en calidad. Estos métodos se pueden clasificar en cuatro grupos distintos:

- **cálculo basado en la actividad del transporte** – es el método básico para llevar a cabo el cálculo de las emisiones más comunes producidas por los vehículos terrestres y para calcular el consumo de energía de los medios de transporte no terrestres; las emisiones calculadas según este método incluyen las llamadas emisiones en caliente, las emisiones de arranque (cuando el motor del vehículo aún no está caliente), y las emisiones por evaporación (véase el siguiente punto - 2.2).
- **cálculo basado en el consumo de energía** – es el método estándar para llevar a cabo el cálculo de las emisiones ocasionadas por los medios de transporte no terrestre, y de las emisiones de SO₂ y Pb producidas por el tráfico rodado; el tipo de emisiones que se incluye en este análisis (en caliente, de arranque y por evaporación: véase el punto 2.2) depende de aquellas que se incluyen en la estimación del consumo de energía.
- **cálculo del balance de carbono** – el cálculo sobre el consumo de carburante o las emisiones de dióxido de carbono se puede realizar mediante una ecuación que representa la cantidad de carbono que queda en el carburante y las sustancias combustibles que aparecen en él; en el caso de los vehículos terrestres (con motores de combustión) este método se utiliza para calcular el consumo de carburante, mientras que cuando se trata de otros medios de transporte, se usa para calcular las emisiones de CO₂ que estos producen; con este método se pueden realizar cálculos acerca de las emisiones en caliente, las de arranque y de las emisiones por evaporación (véase el punto 2.2); además, este método se puede utilizar también para, a partir de los datos disponibles acerca del consumo de carburante, calcular las emisiones de dióxido de carbono que ocasiona el tráfico rodado.

- **cálculo de sustancias contaminantes específicas** – algunos elementos contaminantes se consideran subcategorías de otros (ej. determinadas especies específicas de COV forman parte de la categoría global de COV, y las partículas de un tamaño concreto forman parte de la categoría global de PS); es necesario hacer estimaciones sobre los elementos contaminantes principales y detallar de forma específica las subcategorías según la especie y el tamaño; en este método se pueden realizar cálculos sobre emisiones en caliente, de arranque y por evaporación.

Herramientas para recopilar datos acerca del tráfico rodado

Un pequeño número de investigadores que habían tomado parte en otros proyectos nacionales y multilaterales organizaron una red de cooperación más amplia con el fin de revisar toda la información disponible acerca de las emisiones de sustancias producidas por el tráfico en Europa. De esta cooperación surgió el marco de acción, más amplio, del proyecto *COST*, Acción 319, “*estimación de las emisiones contaminantes ocasionadas por el transporte*”, (proyecto que se puso en marcha en Mayo de 1993 para un periodo de 4 años, que se extendió posteriormente a 5.5 años - es decir, hasta Octubre de 1998), y la Acción 346, cuyo proceso aún no ha terminado.

Las acciones llevadas a cabo permitieron por una parte a los laboratorios participantes comparar y coordinar sus métodos, y por otra a los distintos países europeos coordinar sus programas de investigación y poder así llenar los vacíos de conocimiento que pudieran existir.

El uso de métodos de evaluación de los niveles de emisiones y de consumo de energía comunes para toda Europa y, posiblemente para otras zonas fuera de Europa, hará posible llevar a cabo una comparación de los distintos estudios y análisis realizados.

Sobre la Acción 319 del proyecto *COST* 319 y sobre el proyecto *MEET*, que es una parte del anterior, se realizaron numerosos informes. Estos informes se citan en la bibliografía que aparece al final de este documento. También están disponibles a través de la web en la siguiente dirección: <http://www.inrets.fr/infos/cost319/index.html>.

La metodología a seguir para realizar el inventario final, con todos los datos acerca de los factores de emisión y las características del tráfico se presentan en el informe final *MEET* y permite a cualquier usuario realizar un inventario de estas características.

El presente material, procedente del informe final *MEET* y del informe final de la Acción 319, es una breve síntesis de este método en la que se indican los principios más relevantes del mismo y los datos disponibles, así como su grado de exactitud. Este material, por lo tanto, debería ser considerado de especial utilidad para aquellos estudiantes y demás personas interesadas en conocer los métodos de estimación de emisiones contaminantes producidas por el tráfico urbano.

2.2 Estimación de las emisiones contaminantes producidas por el tráfico urbano

Principios básicos

En términos generales, la estimación de las emisiones ocasionadas por el tráfico se puede basar en la ecuación

$$E = e \times a$$

donde **E** es la cantidad de emisión, **e** es el índice de emisión por unidad de actividad, y **a** es la cantidad de actividad del transporte.

La ecuación es aplicable a cualquier nivel, desde un solo motor hasta toda una flota de vehículos, y desde una sola carretera a hasta la totalidad del territorio europeo.



Fotografía 3: Emisiones producidas por los vehículos: a través del tubo de escape

Para poder llevar a cabo una estimación con exactitud aceptable es necesaria la colaboración de una serie de expertos: los expertos en ingeniería de tráfico proporcionan los datos sobre la situación del transporte y sobre la naturaleza y patrón de esta actividad, mientras que los expertos en motores y emisiones de los vehículos proporcionan los índices de emisión que se adaptan a los patrones de transporte. Las estimaciones sobre las emisiones se utilizan para analizar diferentes opciones estratégicas mediante el desarrollo de distintos escenarios de carácter complejo.

Las emisiones producidas por el tráfico rodado han recibido, comprensiblemente, mayor atención que las producidas por cualquier otro medio de transporte debido a que es el medio más usado para transportar tanto pasajeros como mercancías. El transporte por carretera no sólo conforma la mayor parte de todo el transporte, sino que su carácter descentralizado hace que resulte un medio más cercano para muchas más personas que cualquier otro.

Las principales fuentes de emisión del tráfico rodado son los gases producidos por el tubo de escape (gases de escape) y los hidrocarburos producidos por la evaporación del carburante. Cuando un motor trabaja por debajo de su temperatura normal de funcionamiento el carburante no se usa de forma eficaz, y la cantidad de sustancias contaminantes que produce es mayor que cuando el motor trabaja a una temperatura adecuada. Estas observaciones nos llevan a las primeras conclusiones básicas de este método:

$$E = E_{\text{en caliente}} + E_{\text{de arranque}} + E_{\text{por evaporación}}$$

donde:

- E*** es la emisión total;
E en caliente es la emisión producida cuando el motor está caliente;
E de arranque es la emisión producida cuando el motor está frío;
E por evaporación es la emisión producida por evaporación (sólo para COV).

Cada una de estas partes que integran la emisión total depende de un factor de emisión y de uno o más parámetros que tienen que ver con el funcionamiento del vehículo, por lo tanto, en general:

$$E_x = e_x \times a$$

donde:

- E_x*** es una de las partes que integran la emisión total;
e_x es una actividad relacionada con el factor de emisión;
a es la cantidad de la actividad del tráfico relevante para este tipo de emisión.

Los parámetros ***e_x*** y ***a*** son, por sí mismos, funciones de otras variables.

Para las emisiones en caliente, el correspondiente factor de emisión, ***e en caliente***, se expresa principalmente como una función de la velocidad media del vehículo. Los factores de modificación (que pueden ser, por sí mismos, funciones de otras variables) permiten realizar correcciones de acuerdo a la pendiente de la carretera o la carga transportada por el vehículo. La actividad, ***a***, es, por tanto, la cantidad de actividad (kilómetros del vehículo) realizada a una determinada velocidad, en carreteras con una pendiente determinada, por vehículos que transportan una carga determinada.

Las emisiones de arranque, puesto que sólo se producen al comienzo de un desplazamiento, se expresan como “cantidad por trayecto”, en lugar de hacer el cálculo sobre la distancia total recorrida. El factor de emisión, ***e de arranque***, se calcula como una función de la velocidad media del vehículo. La actividad, ***a***, es el número de trayectos realizados. Este procedimiento se utiliza únicamente con vehículos de carga ligera. Puesto que los datos disponibles sobre otros tipos de vehículos son muy limitados, este detalle no se puede incluir en estos casos, y las emisiones de arranque en frío se estiman simplemente como constantes. (exceso de emisiones por arranque en frío).

Las emisiones por evaporación tienen lugar de diferentes maneras. Cada vez que se le echa gasolina combustible al coche, del depósito del combustible se escapa combustible en forma de vapor; las temperaturas diurnas (más altas en comparación de las nocturnas) hacen que el este combustible evaporado se expanda y se libere a través del depósito; además, el combustible se evapora cada vez entra en contacto con el aire, sobre todo cuando la temperatura del vehículo es elevada durante o después de su uso. Existen, por tanto, diferentes factores de emisión, ***e por evaporación***, dependiendo del tipo de evaporación que tenga



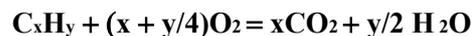
Fotografía 4: Tráfico variado

lugar. Generalmente, estos factores dependen de cuál sea la temperatura ambiente y el índice de volatilidad del carburante. De forma similar, son necesarios también una serie de datos acerca de la actividad desarrollada, incluidos la distancia total recorrida y el número de desplazamientos realizados según la temperatura del motor al finalizar el trayecto.

Estos principios se aplican, con algunas excepciones, a toda sustancia contaminante y todo tipo de vehículo; pero **vehículos de diferentes tipos se comportan de forma diferente en cuanto a las emisiones que producen y las características de su funcionamiento varían según la sustancia contaminante de la que estemos hablando**. Por esta razón, la estimación de las emisiones producidas por tráfico de diferente tipo se debe realizar considerando cada tipo de emisión en particular como parte de una suma de todas las emisiones producidas por cada clase de vehículo en particular que compone el tráfico y, cuando la zona estudiada contiene carreteras en las que el comportamiento del tráfico varía este dato se ha de tomar también en cuenta. Y, por supuesto, esto se ha de hacer con cada una de las sustancias contaminantes por separado.

Consumo de combustible y emisiones de dióxido de carbono, plomo y dióxido de azufre

La combustión de un hidrocarburo (como la gasolina, el diesel y el gas natural comprimido) en el aire, cuando se produce bajo las condiciones ideales, sigue una sencilla ecuación química:



donde:

C_xH_y es el hidrocarburo (un compuesto formado por carbono e hidrógeno);

O_2 es el oxígeno del aire;

CO_2 es el dióxido de carbono;

H_2O es el agua.

Puesto que las masas de los reactantes y los productos aparecen relacionados con su correspondiente peso molecular, es posible determinar la cantidad de CO_2 y de agua que se podría producir para una determinada cantidad de combustible o *vice versa*. Por ejemplo, la masa del carbono en el combustible viene dada por la siguiente fórmula:

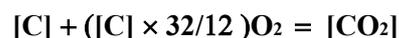
$$[C] = [C_xH_y] \times 12/(12x + 1y)$$

donde:

$[C]$ es la masa del carbono,

$[C_xH_y]$ es la masa del combustible,

12 y 1 son los pesos atómicos aproximados del carbono y del hidrógeno respectivamente, esta cantidad de carbono se combinaría con oxígeno como sigue:



donde:

$[CO_2]$ es la cantidad masa de dióxido de carbono producida,

32 es el peso molecular aproximado del oxígeno.

En la práctica, la combustión del carburante no se produce según esta ecuación ideal, parte del carbono se oxida de forma incompleta y se convierte en CO o partículas de carbono (PS), otra parte escapa a la combustión y se emite a la atmósfera en forma de COV, y los NOx se producen debido a la oxidación del nitrógeno en el aire y a los restos que quedan en el propio carburante. Sin embargo, este mismo principio se puede usar para calcular qué cantidad de carburante puede producir una determinada combinación de CO₂, CO, COV y PS puesto que debe existir un equilibrio entre la cantidad total de carbono existente en el carburante y la existente en todos los productos que participan del proceso de combustión. De igual forma, la masa de cualquiera de las sustancias contaminantes que contienen carbono se puede calcular a partir de la masa del carburante y de la cantidad de otros productos. Sin embargo, éste sería un cálculo impreciso, **excepto para calcular las emisiones de CO₂**, porque el resto de los componentes se producen en cantidades relativamente pequeñas.

Los tests de emisión normalmente incluyen la medición de CO₂ así como de otras sustancias contaminantes, aunque es menos frecuente que el consumo de carburante se mida directamente. Por esta razón, los factores de emisión del tráfico rodado se presentan de forma exhaustiva para cada componente, incluido el CO₂, y el consumo de carburante se puede averiguar a través del método del ‘balance del carbono’, que ya ha sido explicado a grandes rasgos, usando la siguiente ecuación:

$$[\text{CARBURANTE}] = (12 + r_1) \times \{ [\text{CO}_2]/44 + [\text{CO}]/28 + [\text{HC}]/(12 + r_2) + a[\text{PS}]/12 \}$$

donde:

[CARBURANTE] es la masa de carburante,

[CO₂], [CO], [HC] y [PS] son las masas de los respectivos contaminantes emitidos,

*r*₁ y *r*₂ son la cantidad de hidrógeno en proporción a la cantidad de carbono del carburante y emisiones de HC respectivamente,

a es la proporción de carbono existente en la emisión de PS.

Se puede considerar que *r*₁ y *r*₂ son iguales, y sus valores normales son de 1.8 para la gasolina y 2.0 para el gasoil. En los casos en los que no se conoce este dato a la variable *a* se puede conceder un valor de 1. Aunque no todas las partículas volátiles llegan a la atmósfera en forma de carbono, este hecho afecta poco al cálculo del consumo de carburante, puesto que la cantidad de PS es muy pequeña en comparación con la de otros tipos de emisión.

En algunos casos este método se puede aplicar también para calcular las emisiones de dióxido de carbono producidas por el tráfico rodado a partir de los datos disponibles acerca del consumo de carburante.

No es demasiado común disponer de datos de medición directa sobre las emisiones de plomo y dióxido de azufre, pero esto no resulta realmente importante puesto que es posible realizar estimaciones bastante precisas acerca de estas emisiones a partir de los datos existentes acerca del consumo de carburante y de las cantidades de plomo y azufre encontradas en él.

Algunos compuestos del plomo quedan retenidos en el sistema del tubo de escape, el motor y el aceite lubricante y es costumbre dar por hecho que el 75% del plomo procedente del carburante llega a la atmósfera. Del mismo modo se da por supuesto que todo el azufre existente en el carburante se libera también en forma de emisión a la atmósfera y se puede expresar bien directamente como azufre, o bien como dióxido de azufre doblando simplemente la cantidad de azufre (puesto que el peso molecular de SO₂ es dos veces el peso atómico del azufre).

Como ya se sabe, en Europa las emisiones de plomo ya no son un problema y las de dióxido de azufre han disminuido bastante durante los últimos diez años.

Modelos de emisiones producidas por el transporte por carretera

Desde la década de los 70 se llevan realizando en algunos países europeos estimaciones acerca de las emisiones contaminantes ocasionadas por el transporte por carretera a nivel nacional y, a un nivel más local, como parte de los diversos estudios realizados acerca de los efectos ocasionados por la contaminación. Los métodos utilizados para ello se han perfeccionado y desarrollado desde entonces, debido principalmente a la cantidad, tipo y calidad de los datos de los que se dispone. Actualmente se utilizan principalmente tres métodos que pueden variar fundamentalmente en la forma en que cada uno de ellos trata la interacción entre funcionamiento del vehículo y las correspondientes emisiones que ocasiona.

De ellos, el método más antiguo explota el hecho de que las emisiones medias que tienen lugar durante un trayecto determinado varían dependiendo de la velocidad media en la que se realice dicho trayecto. Los perfiles característicos de los gráficos de velocidad-emisión son bien conocidos (véase, por ejemplo, la **Figura 1**), y aunque dichos perfiles varían algo en función del tipo de vehículo y de la sustancia contaminante que se esté analizando, normalmente reflejan emisiones elevadas a una velocidad media baja, (cuando el rendimiento del vehículo no es lo suficientemente eficiente debido a las paradas y arranques intermitentes que realiza el vehículo y a los retrasos que puedan surgir durante el trayecto), una tendencia a las emisiones elevadas a velocidades altas (debido a la gran potencia que necesita el motor en esas ocasiones), y emisiones mínimas a velocidad media.

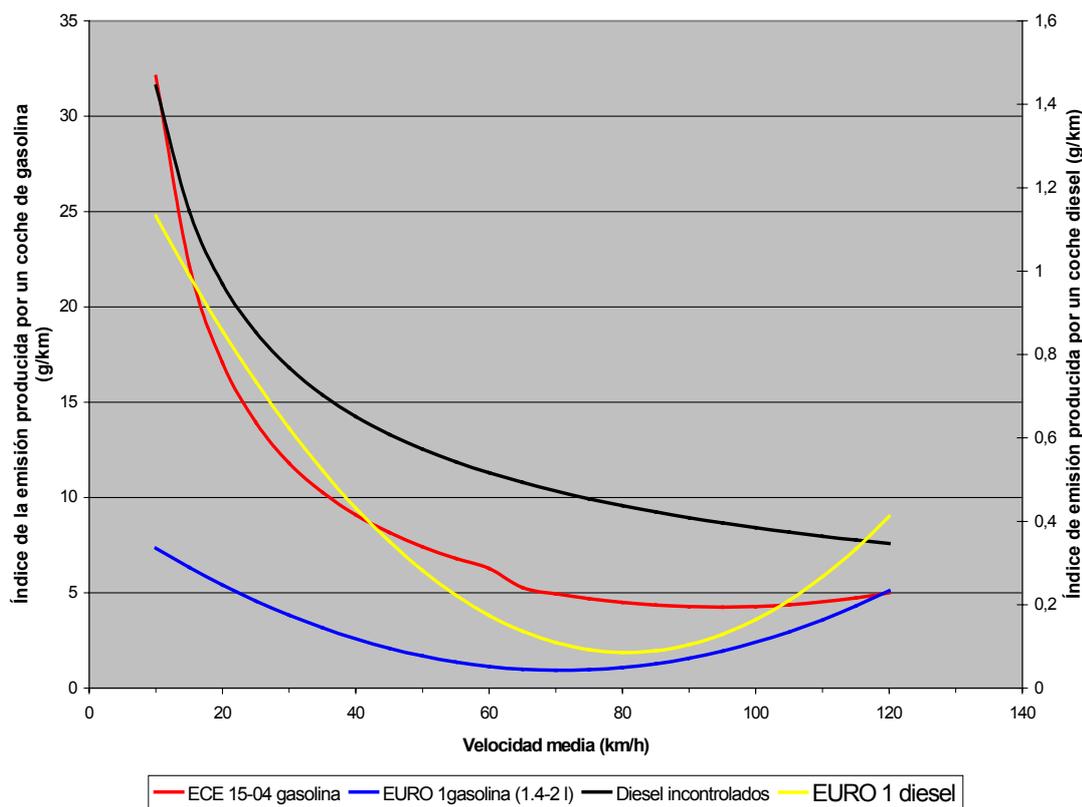


Figura 1: Emisiones de monóxido de carbono producidas por los vehículos utilitarios (coches) dependiendo de la velocidad media del vehículo (Meet, informe final)

Las mediciones de las que se derivan los gráficos de velocidad - emisión casi siempre se llevan a cabo gracias a un dinamómetro colocado en el chasis del vehículo, desde donde se realiza el test al vehículo tras un determinado ciclo de conducción, al mismo tiempo que se recogen y analizan las emisiones ocasionadas que han tenido lugar durante dicho ciclo. La relación que guardan tales emisiones con la velocidad media del vehículo se determina combinando los resultados de los tests realizados durante los distintos ciclos de conducción a distintas velocidades medias. La precisión de los datos revelados por dicha relación ‘emisión – velocidad media’ depende, en gran medida, de hasta qué punto tanto el vehículo testado como los ciclos de conducción analizados son representativos del parque automovilístico del momento y del funcionamiento de dicho parque.

Los ciclos de conducción están, a menudo, demasiado estereotipados y no guardan demasiada relación con los patrones de conducción que encontramos realmente en la carretera. En la **Figura 2** se nos da un ejemplo de un ciclo de conducción típico en zona urbana, y lo que sería el ciclo de conducción aprobado por la UE para las zonas urbanas (28). Se puede comprobar claramente que la cantidad y frecuencia del funcionamiento transitorio es mucho mayor en el ejemplo tomado de la realidad.

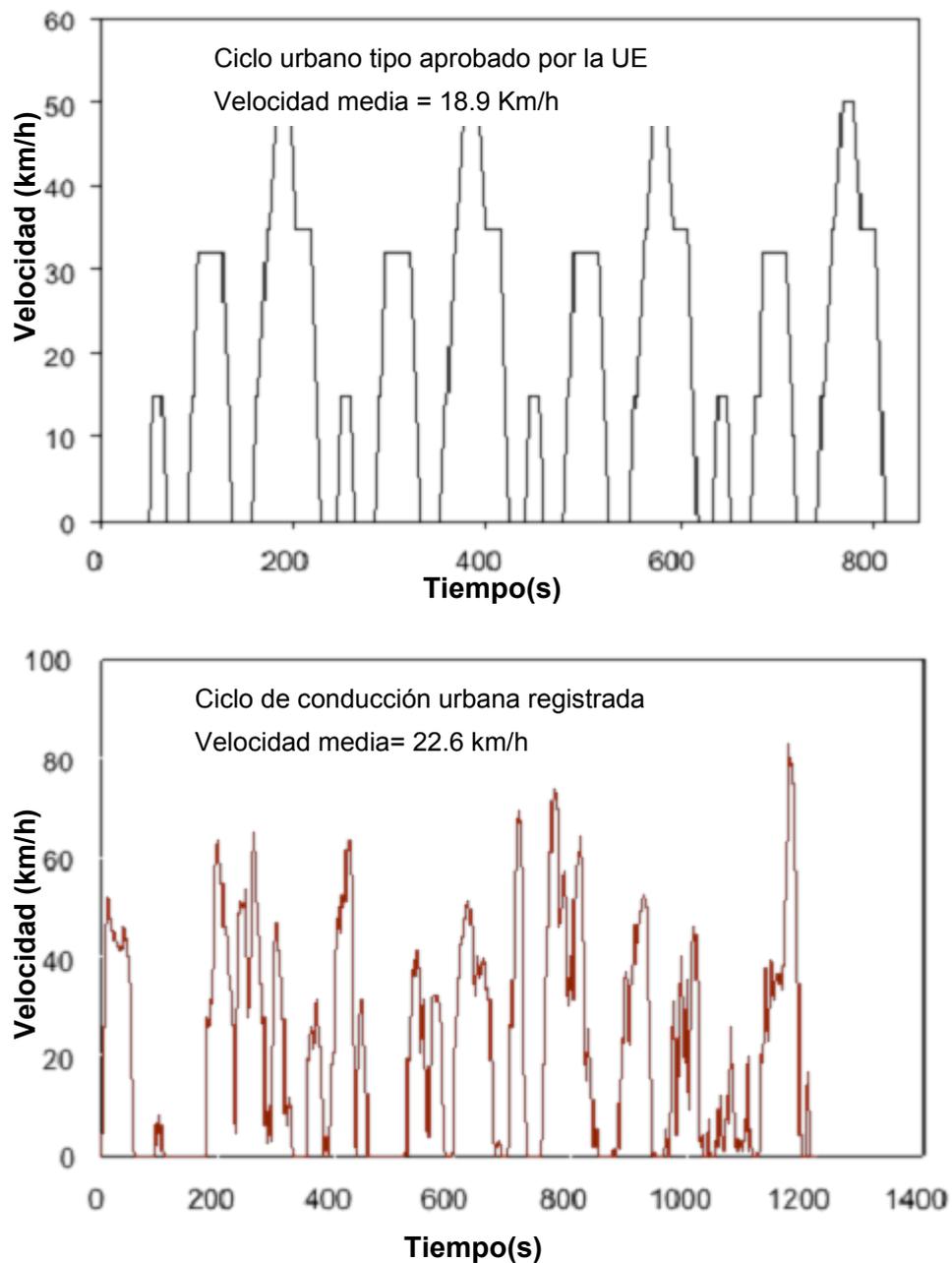


Figura 2: Ejemplos de ciclos de conducción para llevar a cabo tests de emisión en coches de uso particular (Meet, informe final)

Queda claro, sin embargo, que una determinada velocidad media se puede conseguir de diferentes maneras: un trayecto de diez minutos de duración a una velocidad media de 40 km/h se puede realizar a una velocidad constante de 40 km/h, manteniendo una velocidad de 80 km/h durante 5 minutos y sufriendo un retraso de otros 5 minutos, o de cualquier otra manera que tenga cabida entre estas dos posibilidades. Debido a las posibles diferencias de funcionamiento de diferentes vehículos viajando a idéntica velocidad media, otros métodos han intentado clasificar el funcionamiento del vehículo con el fin de tener en cuenta tales diferencias. Los trayectos vienen definidos por la velocidad del vehículo, pero también por otra variable que define el índice de variación de la velocidad.

En el 'Handbuch der Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs' de origen suizo/alemán, la segunda variable es un parámetro que describe el tipo de tráfico al que un factor de emisión es aplicable. Para cada situación del tráfico, sustancia contaminante y tipo de vehículo (se usa una clasificación similar a la que aparece en la Tabla 8) se da un único factor de emisión. Puesto que cada situación del tráfico se asocia a una determinada velocidad media, los datos que aparecen en el Manual (Handbuch) se pueden mostrar en relación a la velocidad media con el fin de compararlos con los gráficos de carácter más convencional que muestran la relación entre velocidad y emisión (**Figura 3**). Los factores de emisión utilizados en el Handbuch muestran un patrón general similar a aquellos derivados de la curva reflejada en los gráficos que ilustran la relación entre velocidad y emisión, pero no se ajustan a esa función tan uniforme. Esto se debe a que cada factor en particular representa un tipo determinado de funcionamiento del vehículo en lugar del funcionamiento tipo a una determinada velocidad media. Así, por ejemplo, en la franja que va de 60 a 80 km/h la curva que representa la relación entre las variables velocidad y emisión genera unos índices de emisión que varían relativamente poco (de aproximadamente 0.95 a 1.1 g/km), mientras que los índices de emisión que aparecen en el Handbuch varían de 0.9 a 2 g/km debido a que estos últimos tienen en cuenta una mayor cantidad de condiciones de funcionamiento distintas.

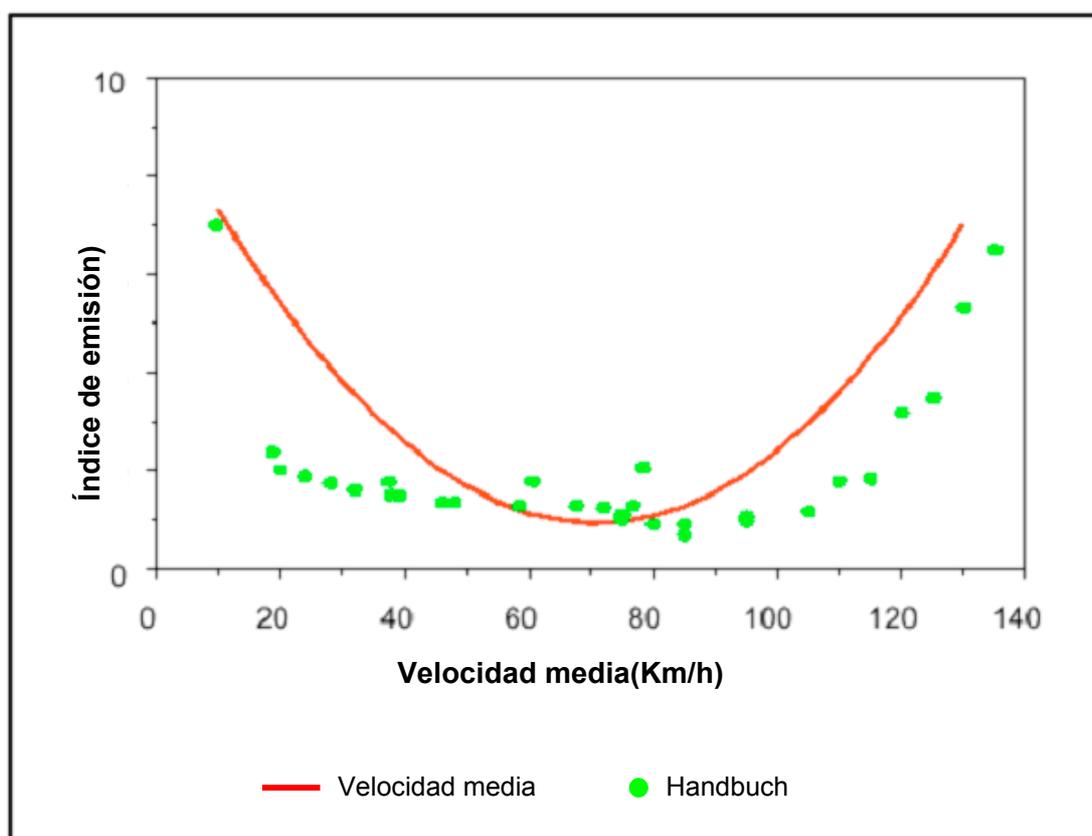


Figura 3: Comparación entre los índices de emisión recogidos en el Handbuch suizo/alemán y un gráfico que muestra la relación 'velocidad - emisión' – emisiones de CO en coches de tamaño medio que utilizan gasolina EURO I

El tercer tipo de los modelos actuales de emisión utiliza una segunda variable numérica, con la velocidad del vehículo, con el fin de describir el funcionamiento del vehículo más detalladamente. Esta segunda variable suele ser el índice de aceleración (que indica, más claramente que la aceleración por sí sola, la potencia que necesita el motor de un vehículo). Este tipo de modelo ya no pretende calcular las emisiones medias producidas durante un desplazamiento, sino que asigna un índice de emisión a cada combinación instantánea de las dos variables elegidas (la unidad de tiempo suele ser de un segundo). Los datos utilizados en estos modelos instantáneos proceden de las continuas mediciones de la velocidad (de donde se puede calcular la segunda variable del funcionamiento) y de las emisiones producidas. Los índices de emisión que se corresponden a las condiciones de funcionamiento en determinadas bandas se combinan con el fin de formar una matriz bidimensional con los factores de emisión, clasificados a partir de las dos variables de funcionamiento.

La aplicación de este tipo de modelo requiere la especificación del perfil de la velocidad desarrollada durante un desplazamiento, y la integración de los factores de emisión correspondientes a cada uno de los pares velocidad - aceleración recogidos cada segundo. Utilizando una distribución de pares velocidad - aceleración que recoja los datos sobre el funcionamiento del vehículo durante más de un único desplazamiento, se pueden obtener resultados de carácter más general.

Uno de los primeros modelos instantáneos que se desarrolló fue el modelo Graz (DGV) (12). Este modelo es un método para estimar las emisiones contaminantes producidas por el tráfico rodado en combinación directa con el registro de los patrones de conducción y se ha utilizado para evaluar aquellas medidas de tráfico calmado (13). Un método parecido era el que se basaba en medidas que utilizaban el FTP 75 de los Estados Unidos y los ciclos de conducción propios de las autopistas (14). Otro modelo era el creado dentro del proyecto Drive/Modem (15). En ese documento se desarrollaban 14 ciclos de conducción distintos a partir de los patrones de conducción registrados en varias ciudades europeas. Más tarde, estos ciclos sirvieron de base para realizar tests a 150 vehículos utilizando el método del dinamómetro en el chasis. Los datos acerca de las emisiones producidas eran recogidos de forma ininterrumpida, y a continuación se determinaban las matrices de emisión, con la velocidad y los tiempos de aceleración como parámetros.

Un programa conjunto sobre el factor de emisión llevado a cabo en Alemania (16) y Suiza (17) utilizaban datos instantáneos acerca de las emisiones producidas para crear los factores de emisión correspondientes a los coches. La base de estas matrices de emisión eran los tests del dinamómetro en el chasis realizados sobre alrededor de 300 vehículos, y utilizando como patrones de conducción el ciclo FTP 75, el NEDC, el de las Autopistas en los EEUU y el de la llamada Autobahn alemana.

En los últimos años es **este tercer tipo de modelo de emisión** el que ha recibido más atención por parte de la comunidad de investigación, y **podría ser considerado el estado del arte de la metodología (11)**.

En Suiza se llevaron a cabo una serie de investigaciones (18) (19) con el fin de definir el alcance de la aplicación de esta metodología y los requisitos necesarios para elaborar las matrices de emisión, de igual forma que la Universidad Técnica de Graz, el INRETS (20) y el TRL investigaron el uso de estos modelos para analizar los programas de tráfico calmado y otras medidas de gestión del tráfico, y la Universidad de Lund, en Suecia, estudió los patrones de conducción urbana(70).

Los objetivos de la actual investigación es conseguir una mayor definición de la franja de aplicación de los datos de disponibilidad inmediata acerca de las emisiones, así como mejorar los propios modelos.

Sin embargo, por una serie de razones, el método más arraigado, que toma como base las emisiones producidas en función de la velocidad media del vehículo, es el que se recomienda todavía para su aplicación a nivel estratégico.

De hecho, los proyectos de investigación europeos llevados a cabo en esta área durante los últimos años han obtenido las siguientes conclusiones:

- la calidad de la matriz de emisión utilizada (es decir, qué patrones se utilizan para generar los datos acerca de la emisión) desempeña un papel importante;
- es recomendable la utilización de métodos de emisión instantánea en aquellos casos en los que la dinámica de conducción y el comportamiento ante el volante tienen mayor interés (los modelos de velocidad media no son apropiados en estos casos);

Elegir el método de cálculo más apropiado en cada caso depende de la aplicación que se le vaya a dar. Para la mayoría de las aplicaciones (ej. para aplicaciones a nivel estratégico) los factores de emisión basados en la velocidad media del vehículo y en una serie de situaciones típicas del tráfico permitirán realizar estimaciones acerca de las emisiones producidas con bastante exactitud. Pero existen ciertas áreas en las que los cambios en las emisiones debidos a cambios en la dinámica de conducción han de ser estimados (ej. tráfico calmado): en tales casos es necesario usar los modelos de emisión instantánea con el fin de obtener resultados más fiables.

Clasificación de vehículos

Las emisiones producidas por vehículos de diferente tipo varían considerablemente, por lo tanto es necesario establecer una clasificación en la que entre los vehículos de cada clase exista la homogeneidad suficiente como para considerar que pertenecen a un mismo grupo. Los factores de emisión se deben combinar con los datos acerca de la actividad del tráfico para obtener las estimaciones acerca de las emisiones y, por tanto, la clasificación de las emisiones ha de ser compatible con las utilizadas para realizar las estadísticas de tráfico. Los principales criterios considerados para llevar a cabo dicha clasificación son:

- el tipo de vehículo (utilitario, VCL, LDV, VCP, de dos ruedas),
- el tamaño del vehículo (capacidad del motor y peso),
- el nivel de control de las emisiones (de acuerdo con lo establecido por la legislación de la UE en cuanto al control de las emisiones),
- el carburante (gasolina, diesel, GNL o, en el futuro, otras alternativas tales como el GNC o la electricidad),
- el motor (para vehículos utilitarios y de dos ruedas, motores de 4 o de 2 tiempos),
- fin operativo del vehículo (para vehículos de carga pesada, como el transporte de mercancías, los autobuses urbanos o los autocares).

Con el fin de identificar el nivel de control de las emisiones, los años en los que se lleva a cabo la entrada en vigor de las acciones legislativas de la UE deberían coincidir con aquellos años en los que se incorporan al parque móvil de la UE vehículos con los avances tecnológicos adecuados. Esta correspondencia debería ser considerada simplemente como una referencia, puesto que existen ligeras diferencias en cuanto a la forma de proceder en los diferentes estados miembros de la UE.

Algunos de las categorías de la clasificación hacen referencia a los vehículos del futuro: bien sean vehículos estándar que se introducirán en el mercado después de realizar los cambios legislativos propuestos para un futuro en cuanto al control de las emisiones, o vehículos que utilizan nuevos carburantes y motores de nueva tecnología.

Uno de los criterios más importantes utilizados para definir las categorías es el ‘nivel de control’, que se define como el estándar de control de las emisiones según el cual un vehículo se clasifica dentro de una determinada categoría. Pero otra forma de hacer la clasificación de los vehículos es dependiendo de la tecnología de sus motores y sus sistemas de control de emisiones. Para los utilitarios con motor de gasolina, por ejemplo, la clasificación sería ‘vehículos que ocasionan emisiones no controladas’, ‘vehículos con catalizador de circuito abierto’ y ‘vehículos con catalizador de circuito cerrado’.

Existe, sin embargo, una estrecha relación entre ambos sistemas de clasificación: los límites establecidos por la ley normalmente dictan qué tipo de tecnología es necesaria para no sobrepasar los valores fijados, a pesar de que tales tecnologías no están legalmente especificadas.

Es necesario señalar que los 5 primeros estados legislativos llevados a cabo en la UE fueron tomados de las Disposiciones fijadas por de la CEE y, por esa razón, al referirse a los vehículos con frecuencia se utilizan los términos propios de dicha normativa en lugar de sus equivalentes Directivas de la CE. Las equivalencias son como siguen:

- Directiva 70/220/EEC: ECE Disposición 15.00
- Directiva 74/290/EEC: ECE Disposición 15.01
- Directiva 77/102/EEC: ECE Disposición 15.02
- Directiva 78/665/EEC: ECE Disposición 15.03
- Directiva 83/351/EEC: ECE Disposición 15.04



Fotografía 5: Congestión de tráfico en la ciudad

Composición del Tráfico Rodado

Este encabezamiento hace referencia a la composición del tráfico en relación a las distintas categorías de los vehículos dependiendo de las emisiones que producen.

En la sección anterior se describe un sistema para la clasificación general de los vehículos basado en las propiedades que pueden influir en la emisión de contaminantes, como pueden ser el tamaño, el carburante utilizado o la antigüedad del vehículo.

Para poder realizar las estimaciones acerca de las emisiones de carácter contaminante producidas por el transporte por carretera es imprescindible disponer de datos sobre el número de vehículos clasificados en cada una de las categorías de emisión, la distancia media anual recorrida por dichos vehículos, así como conocer las velocidades representativas de cada vehículo. De forma conjunta, los dos primeros factores - el número de vehículos de cada categoría y la distancia recorrida al año por tales vehículos – pueden servir para especificar la composición media del tráfico a nivel nacional.

En el proyecto MEET se adoptó un formato estándar para la presentación de los datos. Primeramente, se ofrece la información disponible acerca de la distancia recorrida y la velocidad de los vehículos para cada Estado Miembro y para la totalidad de la UE, tomando como base el año 1995. En segundo lugar, se expone la evolución del parque móvil de cada país y de la UE en su conjunto (número de vehículos que componen cada categoría) en intervalos de

5 años durante el periodo que va desde 1990 al año 2020. El conjunto de todos estos datos, incluidas las fuentes utilizadas para recopilar los datos históricos y el procedimiento utilizado para las predicciones, se describe más detalladamente en el Suplemento 16 (51) del proyecto MEET. Se incluye también una serie de comparativas entre las condiciones actuales y las distintas tendencias seguidas en diferentes Estados Miembros.

Por supuesto, existirán datos que se alejarán significativamente de los datos generales, especialmente a un nivel más local, donde cualquiera de las características de los vehículos utilizadas para llevar a cabo la clasificación puede diferir enormemente de la media nacional. Si existen datos más detallados, precisos o localmente más específicos, deberían ser utilizados preferentemente según los valores establecidos por el proyecto MEET.

Stock de vehículos

La figura 4 muestra el parque de vehículos utilitarios de cada uno de los 15 Estados Miembros de la UE en el año 1995, según el tipo de carburante utilizado y la capacidad del motor. Es evidente que la gran mayoría de los coches tenían motor de gasolina inferior a 2.0 litros de capacidad. En 1995, de media, un 15% de los coches existentes eran diesel, mientras que el número de coches que utilizan el GNL como carburante solamente es significativo en Italia y en los Países Bajos.

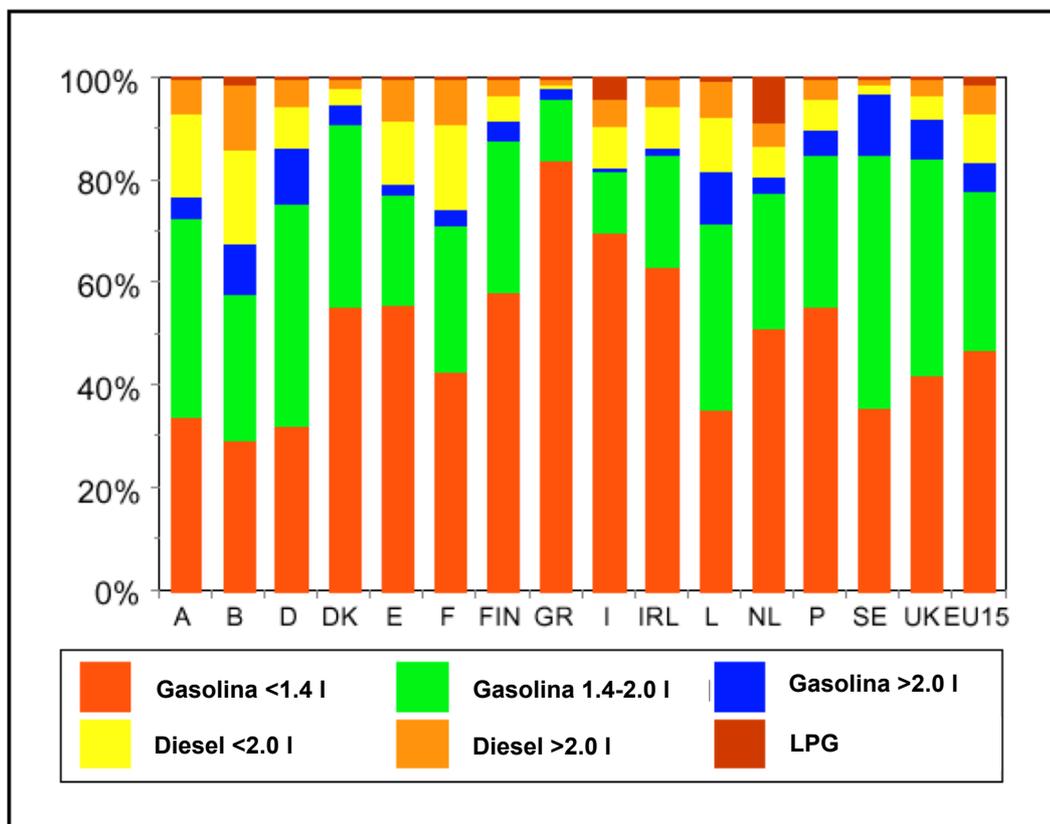


Figura 4: Distribución del parque móvil de coches utilitarios (datos de 1995) en los 15 estados de la UE (Meet, informe final)

Los vehículos utilitarios son, con diferencia, el tipo de vehículo más abundante, representando el 80% de todos los vehículos de la UE. Los vehículos para transportar mercancía ligera representan un 6.5%, de los que unos dos tercios son de motor diesel y el resto motor de gasolina, los vehículos de carga pesada (todos diesel) componen: como vehículos para el transporte de mercancía pesada (VMP) un 3% de la flota y como autobuses y autocares un 0.25% de la misma. Los ciclomotores y las motocicletas representan el otro 10%. A pesar de que estos datos representan la media de la UE, existen diferencias significativas entre unos países y otros. Por ejemplo, la proporción de coches utilitarios varía entre un 55% (en Portugal) y un 90% (en Suecia), mientras que la proporción de vehículos de dos ruedas va desde un 1% (en Irlanda) a un 35% (en Portugal).

La distribución de los vehículos dentro de las distintas categorías de emisión está estrechamente relacionada con su antigüedad (puesto que los distintos estándares de emisión se introdujeron de forma escalonada durante un determinado periodo de tiempo en la mayoría de los países de la UE). La antigüedad media de los coches utilitarios está entre los 7 y los 8 años, pero también hay diferencias de un país a otro: los coches de mayor antigüedad son los de Finlandia, donde la media se sitúa en unos 11 años, mientras que el parque móvil más joven es el de Luxemburgo, con una antigüedad media de unos 4 años.

La distancia recorrida por el vehículo

La mayoría de las características de las que se ha hablado brevemente en los puntos anteriores (tamaño, antigüedad, carburante utilizado, etc.) hacen referencia a la forma en la que se utiliza un vehículo, y esto se refleja en la distancia que un vehículo recorre habitualmente al año. En el caso de los utilitarios, hay una tendencia generalizada entre los coches más nuevos, los que poseen un motor más potente o un motor diesel a recorrer al año distancias más largas. La figura 5 ilustra la relación entre tamaño del motor y carburante utilizado y la distancia recorrida por el vehículo en los 15 países de la UE.

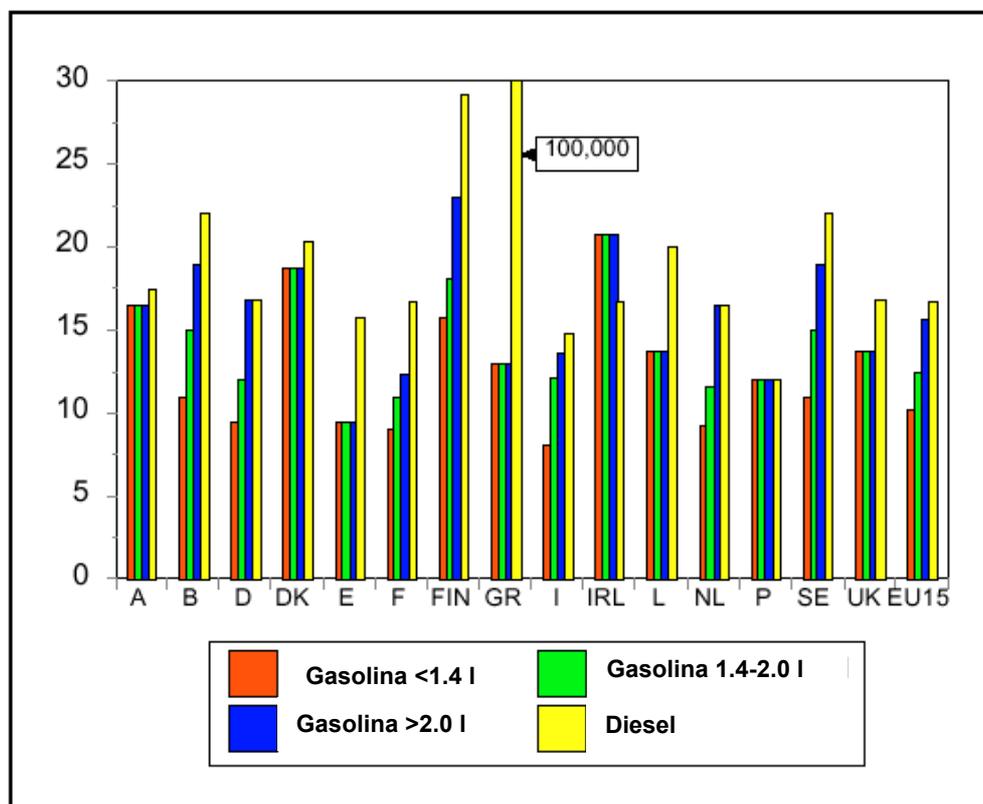


Figura 5: Relación entre tipo/tamaño del motor y la distancia recorrida por utilitarios en los 15 de la UE (datos de 1995 data; Proyecto Meet)

Los vehículos utilizados con fines comerciales (vehículos para el transporte de mercancía ligera o pesada, autobuses y autocares) suelen usarse mucho más que los utilitarios. En comparación con la distancia total recorrida al año por los coches, unos 12,000 km., los vehículos dedicados al transporte de mercancía ligera recorren una distancia aproximada de 20,000 km. anuales, los de transporte de mercancías pesada 50,000 y los autobuses y autocares 45,000. Por el contrario, los vehículos de dos ruedas recorren distancias considerablemente más pequeñas al año. Los vehículos de este tipo con un motor de capacidad inferior a los 50cc, que se utilizan principalmente en áreas urbanas para realizar trayectos relativamente cortos, recorren una media de 3,000 km./año, mientras que las motocicletas con motor de mayor capacidad recorren una media anual de 5,500 km.

Composición del tráfico

La composición media del tráfico rodado depende tanto del número de vehículos de cada categoría que haya como de la distancia anual que hayan recorrido. Los tipos de vehículo que más abundan, y aquellos que cubren al año distancias más largas tienen más posibilidad de estar presentes en el tráfico en un determinado momento que los tipos de vehículo que son menos comunes o que se utilizan con menor frecuencia. Por lo tanto, combinando las estadísticas expuestas anteriormente es posible calcular la composición media (y, necesariamente, de carácter aproximado) del tráfico propio de la UE según la clasificación a partir de las emisiones producidas. Como ejemplo, se ha calculado la composición media del tráfico para los 15 países miembros de la UE para el año 1995, y los resultados se muestran de forma gráfica en la Figura 6. Los datos se presentan en unidades de billón de vehículos kilómetro recorridos para cada una de las categorías de vehículos clasificados según la emisión que producen y que componían el parque móvil en 1995 (es decir, el carburante EURO 2 y los estándares de emisión para dicho carburante no se incluyen puesto que no se aplicaron hasta el año 1996). Como sucede siempre, la media de esta composición no refleja las diferencias, a veces significativas, que existen entre los distintos países integrantes de la UE. Por ejemplo, la categoría ‘vehículos utilitarios con motor a dos tiempos’ representa únicamente uno de cada 100.000 vehículos kilómetro, pero en Finlandia, aunque sigue siendo bastante baja, la cifra se eleva a uno de cada 1.500 vehículos kilómetro. De forma similar, en toda la UE los coches de gasolina pequeños, anteriores a la CEE, representan, aproximadamente, uno de cada 4.000 vehículos kilómetro, mientras que en Grecia representan a uno de cada 130 vehículos kilómetro.

Debido a que los datos ofrecidos son a nivel nacional, podrían aplicarse en aquellos casos en los que las diferencias entre países son importantes. En el caso de que las variaciones dentro de un mismo país resultaran significativas, sería imprescindible disponer de datos externos suplementarios. La disponibilidad y el carácter más o menos general de tales datos varía considerablemente entre los distintos países miembro de la UE.

Otra característica de la recopilación de datos en este sentido es que no sirve de indicativo sobre el funcionamiento de los vehículos y, como ya hemos visto, los índices de emisión varían significativamente dependiendo de las condiciones operativas del vehículo. Este factor, sin embargo, se ha tenido en cuenta en el proceso de recopilación de las estadísticas acerca de los vehículos y del tráfico mediante la inclusión de datos en la distribución del tráfico, entre carreteras ‘urbanas’, ‘comarcales’ y ‘autopistas’, en cada uno de los países miembro. Aunque esto no se hizo así en el ejemplo que se da a continuación, con los datos disponibles es posible subdividir los totales de la UE entre estos tres tipos de carretera distintos. Es más, se ofrecen también los datos acerca de las velocidades medias representativas de cada tipo de carretera, de manera que estos datos puedan ser utilizados junto con las variables, que se presentan en los siguientes apartados, sobre las emisiones producidas dependiendo de la velocidad media de los vehículos.

Tabla de datos del proyecto MEET

Como ya se ha mencionado con anterioridad, en el informe final del proyecto MEET se incluyen las estadísticas acerca del tráfico rodado a las que se ha hecho referencia en los puntos anteriores. Para cada estado miembro de la UE por separado, y para la UE en su totalidad, los datos aparecen divididos en dos partes (a y b). La tabla 'a' hace referencia al número de vehículos pertenecientes a cada categoría según el tipo de emisión producida, desde el año 1990 al año 2020, y en intervalos de 5 años. La tabla 'b' incluye la distancia total recorrida anualmente por cada categoría de vehículo, su reparto entre carreteras urbanas, comarcales y autopistas, y las velocidades representativas de estos tres tipos de carretera, según los datos del año 1995.

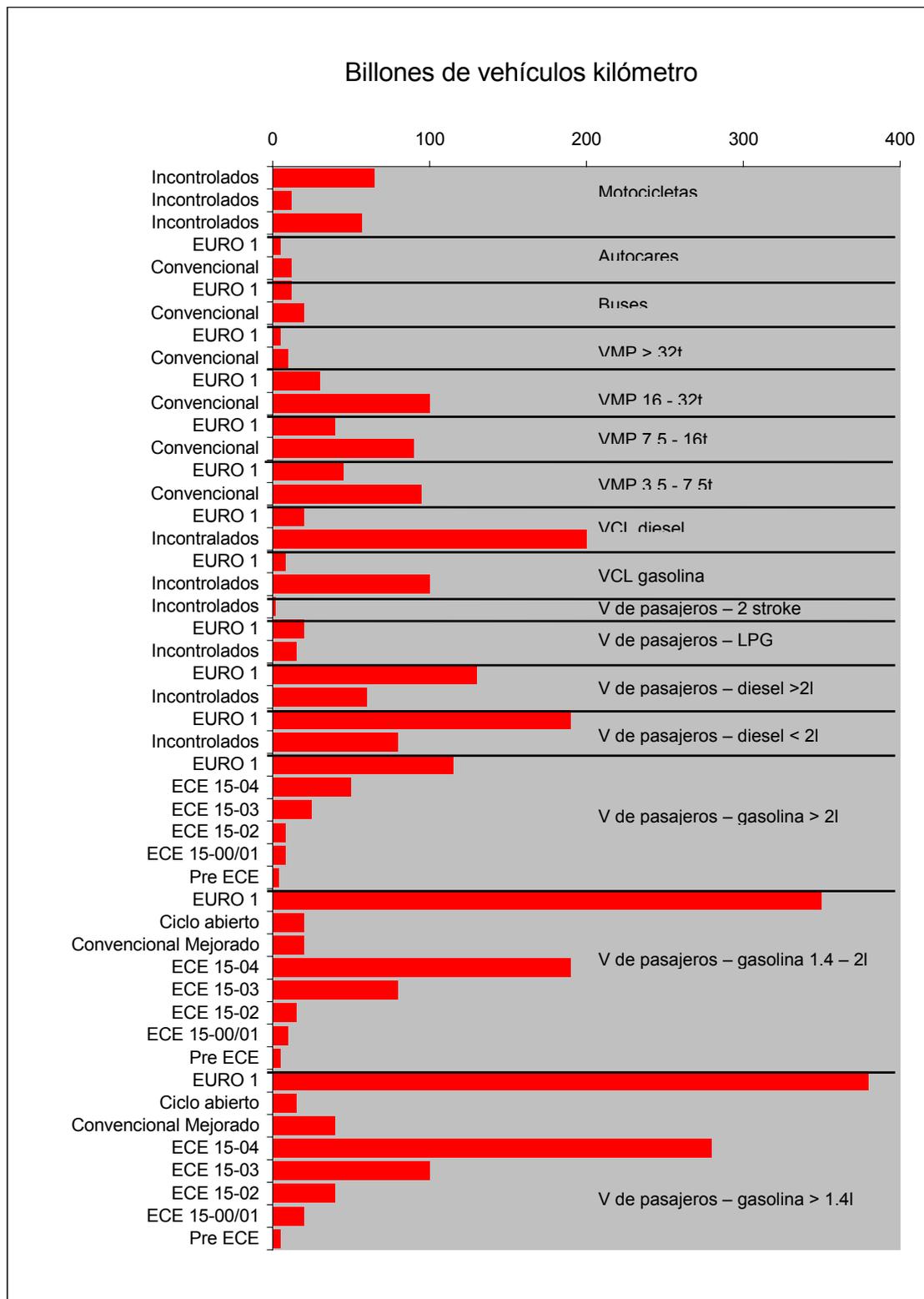


Figura 6: Composición media del tráfico rodado, en la EU de los 15, 1995 (Meet, informe final)

2.3 Emisiones en caliente

Ecuaciones básicas según el método MEET

Las emisiones en caliente son aquellas que se producen cuando el motor y los sistemas de control de las emisiones del vehículo (ej. el catalizador) han alcanzado la temperatura normal de funcionamiento. Este tipo de emisiones se pueden calcular, si se conoce la emisión producida por unidad de actividad, así como la actividad total a lo largo del tiempo, utilizando la siguiente fórmula:

$$E_{\text{en caliente}} = e \times m$$

donde:

E en caliente es la emisión, en unidades de masa por unidad de tiempo (normalmente en t/a),
e es el factor de emisión en caliente en g/km,
m es la actividad, en distancia recorrida por unidad de tiempo (normalmente en km/a).

La actividad *m* requerida para poder calcular la emisión producida según la ecuación anterior se define de la siguiente manera:

$$m = n \times l$$

donde:

n es el número de vehículos de cada una de las categorías definidas en la Tabla 8,
l es la distancia media recorrida por los vehículos de cada categoría durante la unidad de tiempo dada, en km/a.

Es obvio que la anterior ecuación se ha de aplicar a cada categoría de vehículo por separado, puesto que los factores de emisión y la actividad desarrollada son distintos en cada caso.

Es necesario señalar también que la distancia anual media recorrida por un tipo de vehículo varía de un país a otro y, en cualquier caso, esta distancia se distribuye entre los distintos tipos de carretera. Parte de dicha distancia se recorre en áreas urbanas, parte en carreteras comarcales y el resto en autopistas, teniendo cada tipo de carretera una velocidad media distinta, y afectando todos estos hechos a los factores de emisión.

Por lo tanto, para poder aplicar tal ecuación se requieren los siguientes datos:

- el número de vehículos de cada categoría
- la distancia total recorrida al año por cada categoría de vehículo
- el porcentaje de distancia recorrida en carreteras urbanas, en carreteras comarcales y en autopistas
- la velocidad media empleada en cada tipo de carretera
- la relación existente entre factor de emisión y velocidad media.

Combinando las dos ecuaciones anteriores, y teniendo en cuenta las diferentes categorías de los vehículos, es posible formular la ecuación final para el cálculo de emisiones en caliente:

$$E_k = \sum_{i=1}^{i= \text{categorias}} n_i * l_i * \sum_{j=1}^{j= \text{tiposcarreteras}} p_{i,j} * e_{i,j,k}$$

donde:

k identifica a las sustancias contaminantes

i es la categoría del vehículo

j es el tipo de carretera

n_i es el número de vehículos de cada categoría **i**

l_i es la distancia anual media recorrida por los vehículos de la categoría **i**

p_{i,j} es el porcentaje de la distancia anual recorrida en el tipo de carretera **j** por el tipo de vehículo **i**

e_{i,j,k} es el factor de emisión de la sustancia contaminante **k** correspondiente a la velocidad media empleada en el tipo de carretera **j**, por la categoría de vehículo **i**

Factores de emisión en caliente para utilitarios y vehículos de carga ligera

En el proyecto COST, Acción 319, aparecen gran cantidad de datos obtenidos acerca de coches actualmente en uso, recopilados a su vez por varios países y laboratorios. Estos datos fueron analizados y después se definieron una serie de factores de emisión y de variables para cada una de las clases de utilitarios y vehículos de carga ligera más importante tecnológicamente hablando, gracias todo ello a la adopción de un método según el cual los resultados obtenidos dependen de la velocidad media de los vehículos(28). Se adoptaron algunas variables de emisión, desarrolladas en un primer momento para el proyecto COPERT I (29), con el fin de poder abarcar todas las combinaciones posibles entre las diferentes tecnologías y carburantes existentes. Teniendo en cuenta los datos obtenidos de cada uno de los participantes, se trataron las siguientes categorías:

- Coches de gasolina que cumplen con los estándares de emisión establecidos para la EURO I (91/441/CEE)
- Coches diesel que cumplen con los estándares de emisión establecidos para la EURO I (91/441/CEE, 88/436/CEE y USA 83)
- VCL que utilizan la gasolina convencional
- VCL que utilizan el diesel convencional
- VCL que cumplen con los estándares de emisión establecidos para la EURO I (93/59/CEE)
- VCL diesel que cumplen con los estándares de emisión establecidos para la EURO I (93/59/CEE)

Las otras categorías tecnológicas de mayor antigüedad quedan cubiertas por las ecuaciones del método CORINAIR/COPERT. Como se ve, existe un completo conjunto de ecuaciones para el cálculo de las emisiones, adecuadamente presentado en forma de cuadros o tablas y que cubre todas las categorías de vehículos y los principales contaminantes. En los cuadros mencionados aparecen las ecuaciones en forma de variables en función de la velocidad media del vehículo y se presentan también los coeficientes de correlación (R^2) de las curvas que mejor se ajustan.

Factores de emisión en caliente para vehículos de carga pesada (VCP)

En el Workbook on emission factors for road transport(30) se incluye una útil recopilación de los factores de emisión para vehículos de carga pesada y otros tipos de vehículos (incluidos los camiones pesados y los autobuses) para varios patrones de conducción.

Los parámetros adicionales considerados en el caso de VCP son la pendiente de la carretera y el grado de carga del vehículo; Tanto los vehículos de carga pesada como los autobuses se dividen a su vez en una serie de subcategorías según su peso. En la citada publicación se dan factores emisión de carácter 'discreto' para cada conjunto de patrones de conducción predefinidos con anterioridad. Dentro del proyecto MEET, y a partir de la curva estadística que mejor se adaptaba a los datos proporcionados por el texto mencionado, se definieron funciones continuas de los índices de emisión, dependiendo de la velocidad media del vehículo. Las funciones adoptan la siguiente forma:

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

donde:

ε es el índice de emisión en g/km para un vehículo de transporte de mercancías descargado, o para un autobús o autocar que transporta escasa carga, en una carretera sin pendiente (0%)

K es una constante

$a - f$ son los coeficientes

v es la velocidad media del vehículo en km/h

Las sustancias contaminantes consideradas son: monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y las partículas. Los coeficientes de estas ecuaciones son válidos para cuatro clases de vehículos de carga (de 3.5 a 7.5 toneladas, de 7.5 a 16 toneladas, de 16 a 32 toneladas y de 32 a 40 toneladas), así como para autobuses y autocares, y se presentan en sus tablas correspondientes.

El siguiente gráfico (**Figura 7.**) muestra las funciones continuas de emisión, a las que se hace referencia más arriba, en el caso de los autocares para cada una de las sustancias contaminantes tratadas.

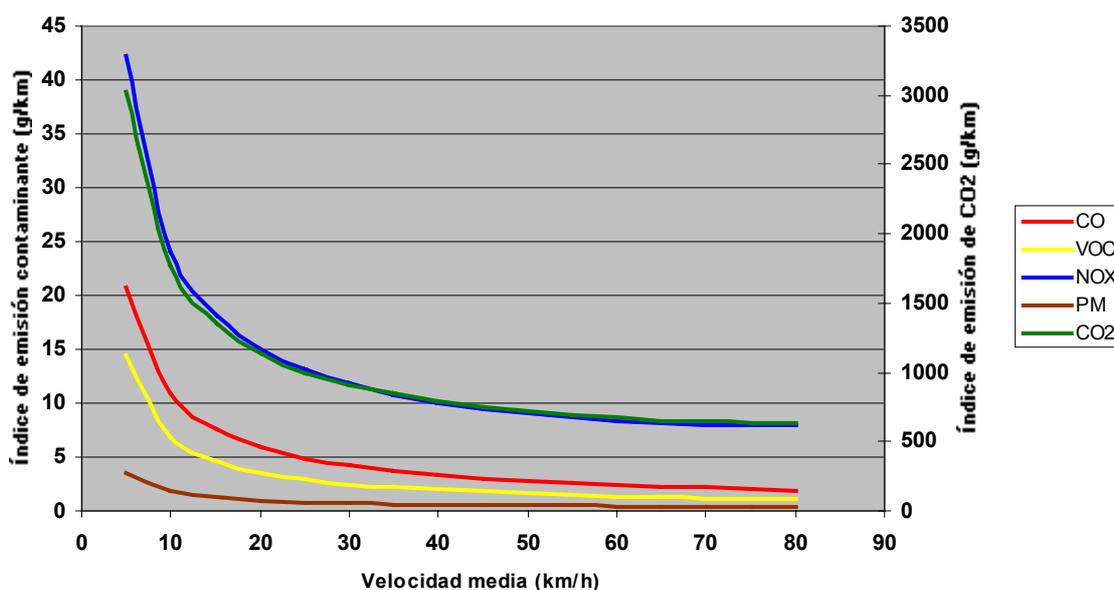


Figura 7: Emisiones contaminantes producidas por autocares en función de la velocidad media de los mismos (Meet, informe final)

Ciclomotores y motocicletas

En el pasado se le prestaba poca atención a las emisiones producidas por los vehículos de dos ruedas, y en cualquier caso menos que a las emisiones producidas por los utilitarios o los camiones. Sin embargo, en la década de los 70 quedó demostrado que en aquellos países en los que una gran parte de la población utiliza los vehículos de dos ruedas como medio de transporte la contribución de estos vehículos al problema de la contaminación puede ser significativa. Y esto es aún más cierto desde que las emisiones procedentes de coches y camiones han sido, o van a ser, restringidas. Los motores de dos tiempos, en particular, pueden emitir cantidades significativas de hidrocarburo, pero las mediciones llevadas a cabo muestran que los motores de cuatro tiempos no están a la altura de los estándares establecidos en el caso de los coches utilitarios. **En algunos países, los vehículos de dos ruedas serían una parte significativa dentro de los inventarios acerca de las emisiones.**

El problema para conseguir una estimación correcta sobre el comportamiento general de los vehículos de dos ruedas acerca de las emisiones que producen es que los datos de los que se dispone son escasos y, a menudo, se basan en muy pocos vehículos. Por otra parte, existe mucha más variedad de vehículos de dos ruedas que de cuatro en cuanto a la potencia del motor, al peso, a los tipos de motor y a los tipos de vehículo. La escasez de datos hace que toda esta variedad sea difícil de representar.

Los tipos de vehículo a considerar son:

- **Los ciclomotores.** Vehículos de dos ruedas pequeños, a menudo de uso restringido. Existen grandes diferencias entre los distintos países en cuanto, por ejemplo, al límite de velocidad de los ciclomotores (de 25 km/h a 50 km/h) y a otras propiedades (ej. con o sin marchas).
- **Las Motocicletas.** Vehículos más grandes cuyas características varían: de 125 a más de 1200 cc de motor, de 60 a los 350kg de peso, de 3.5 a 100 kW o más. Para ser utilizados en carretera, fuera de carretera e híbridos.

Los motores a considerar son los de 2 y 4 tiempos. Los motores Wankel se utilizaron durante un tiempo, pero en la actualidad están completamente fuera del mercado. En cuanto al tema de las emisiones contaminantes, existen una serie de normas que los vehículos tienen que cumplir. A menudo, la legislación exige requisitos diferentes para los motores de 2 y de 4 tiempos y, evidentemente, para diferentes tipos de vehículos.

En total, se midieron las emisiones producidas por 24 motocicletas de la UDC europea, la EUDC también europea, la US-FTP americana, American Highway Cycle y el German Motorway Cycle. Esto permitió establecer una variable en función de la velocidad dentro del proyecto MEET (35). Los factores de emisión propuestos se presentaron en tres cuadros específicos en el ya mencionado informe final de dicho proyecto.

Otros parámetros que influyen en las emisiones en caliente

Aparte de la tecnología del vehículo y de la velocidad media, otros parámetros influyen también en las emisiones, ya sea directamente (ej. la distancia recorrida por el vehículo, la temperatura del motor, la altitud a la que se encuentre), o alterando el funcionamiento del motor (ej. la pendiente de la carretera o la carga que transporta el vehículo). Los factores de emisión y las variables que aparecen en la bibliografía citada hacen referencia a las condiciones *estándar* para llevar a cabo los tests (es decir, cero altitud, cero pendiente de la carretera, vehículo vacío, etc.).

Los factores de emisión se calculan, en primer lugar, como una función de la velocidad media del vehículo. Dependiendo del tipo de vehículo, es necesario hacer una serie de correcciones que permitan tener en cuenta los efectos de la pendiente de la carretera, la carga del vehículo, la distancia recorrida y la temperatura ambiente. Así, para un tipo de vehículo y sustancia contaminante determinados:

$$e_{hot} = f(v) * GC * LC * MC * TC$$

donde:

$e_{en\ caliente}$ es el factor de emisión corregido,
 $f(v)$ es el índice de emisión dependiendo de la velocidad media, para condiciones estándar,

$GC, LC, MC \& TC$ son los factores o variables de corrección para la pendiente, la carga, la distancia recorrida y la velocidad respectivamente.

En la bibliografía que se cita en el apartado final se pueden encontrar algunos de estos factores y variables de corrección, la mayoría adecuadamente presentados en sus correspondientes cuadros (34)(36)(37)(38)(39). El factor de emisión corregido se ha de combinar, entonces, con los datos apropiados acerca de la actividad desarrollada, como ya se ha mencionado anteriormente, y con la suma de los datos recogidos acerca de todas las categorías de vehículos con el fin de obtener las emisiones producidas por la totalidad del parque móvil. Debido a las limitaciones existentes en cuanto los datos disponibles, no es posible encontrar en la bibliografía una lista completa de todas las variables correspondientes a todas las categorías de vehículos existentes. La velocidad media del vehículo es un dato que se tiene en cuenta en todos los casos, pero otros datos sólo se pueden aplicar en aquellos tipos de vehículos sobre los que existe la información necesaria, y sobre los que se demuestra que estos datos ejercen una influencia significativa. A continuación, en la **Tabla 1**, se ofrece un sumario de los parámetros incluidos en el proceso de cálculo de las emisiones en caliente, según el método MEET; aunque es sabido que otros parámetros influyen también en este tipo de emisiones y se conocen, de igual manera, sus efectos, aún no existen datos suficientes a partir de los que realizar estimaciones cuantitativas que resulten fiables.

Tipo de vehículo	Velocidad media	Pendiente	Carga	Distancia recorrida	Temperatura
Coche - convencional	✓	✓			
- con catalizador	✓	✓		✓	✓
- diesel	✓	✓			
VCL - convencional	✓	✓			
- con catalizador	✓	✓		(✓)	(✓)
- diesel	✓	✓			
VCP	✓	✓	✓		
Autobús y autocar	✓	✓			
Motocicleta	✓				

Tabla 1: Parámetros incluidos en el cálculo de las emisiones en caliente, según el método MEET.

2.4 Emisiones extras producidas en el arranque

El método de estimación de emisiones de arranque propuesto por el proyecto MEET fue desarrollado de forma empírica utilizando para ello los datos obtenidos a partir de numerosos programas de análisis llevados a cabo en Europa.

En este proyecto se recopilaron y analizaron los datos más relevantes obtenidos de la medición de las emisiones producidas por un mismo vehículo con el motor en frío y en caliente, y realizando los tests bajo idénticas condiciones: la diferencia entre ambas mediciones se consideró representativa de los excesos de emisión resultantes del funcionamiento del motor en frío.

El utilitario era el único tipo de vehículo sobre el que existían suficientes datos. Dentro de esta categoría, se distinguió entre vehículos de gasolina y vehículo diesel, con y sin catalizador, pero los datos acerca de vehículos diesel equipados con catalizador eran demasiado escasos como para permitir realizar un análisis pormenorizado sobre esta subcategoría(40).

Según el método MEET, para cada sustancia contaminante y cada tipo de vehículo se marca un valor de referencia que establece el exceso de emisión como el valor correspondiente a una temperatura de arranque de 20°C y a una velocidad media de 20km/h. El valor de referencia se corrige mediante las variables definidas en el método a partir del análisis de los datos recopilados, dependiendo de cuál sea la temperatura real de arranque y la velocidad media, así como la distancia recorrida por el vehículo (algunos trayectos son más cortos que la distancia necesaria para calentar completamente el motor del vehículo, y en esos casos, no se produce el exceso de emisión en su totalidad)

Fórmula general para calcular el exceso de emisiones de arranque producidas durante el trayecto

La fórmula para calcular el exceso de emisión en función de la velocidad media, la temperatura ambiente y la distancia recorrida es la siguiente:

$$\text{exceso de emisión} = \omega \times [f(V) + g(T) - 1] \times h(d)$$

donde:

exceso de emisión	durante un trayecto se expresa en g
V	es la velocidad media en km/h mientras el motor está frío
T	es la temperatura en °C (temperatura ambiente para un arranque en frío, temperatura de arranque del motor cuando el arranque tiene lugar a una temperatura intermedia)
d	es la distancia recorrida
ω	es el exceso de emisión que se toma como referencia (20°C y 20 km/h)

Exceso de emisión que se toma como referencia

El valor de referencia de exceso de emisión se define como la cantidad de emisión producida a una velocidad media de 20 km/h con una temperatura de arranque de 20°C, y durante un trayecto lo suficientemente largo como para que el motor alcance sus condiciones normales de temperatura.

Influencia de la velocidad media

En el método MEET se utilizan una serie de variables específicas con el fin de tener en cuenta la influencia que ejerce la velocidad media a la que se desplaza el vehículo sobre el hecho de que se produzca un exceso de emisión $f(V)$ y poder así variar el valor de referencia que aparece en la fórmula general anterior; estas variables se normalizan para darle el valor de 1 a la velocidad de 20 km/h.

Influencia de la temperatura ambiental

En general, el exceso de emisión tiende a incrementarse al mismo tiempo que se reduce la temperatura de arranque. Las variables, que expresan el exceso de emisión en función de la temperatura de arranque, se determinaron usando un modelo lineal, y fueron estandarizadas para darle el valor de 1 a la temperatura de arranque de 20°C.

Influencia de la distancia recorrida

Las emisiones producidas por un vehículo se estabilizan únicamente cuando su motor ha alcanzado sus condiciones normales de temperatura y es imprescindible recorrer una cierta distancia (la ‘*distancia en frío*’) antes de alcanzar dicha temperatura. Esta distancia varía según el tipo de vehículo, de la forma en que se conduce ese vehículo (que, según el método MEET, viene representada por la velocidad media), la temperatura ambiente y las sustancias contaminantes que se están analizando.

El exceso de emisión se produce durante toda la *distancia* recorrida *en frío* pero los trayectos más cortos no producen la cantidad total de los excesos de emisión que un trayecto de mayor duración también podría ocasionar en idénticas condiciones. La **Figura 8**. muestra de forma esquemática este principio: trayectos de igual o mayor duración con el motor en frío que ocasionan el exceso de emisión total.

Las variaciones en el exceso de emisión (en la fórmula general $h(d)$) para trayectos más cortos que la *distancia recorrida en frío* se expresan como una función de la relación entre la longitud del trayecto y la distancia recorrida en frío; de esta manera:

$$h(d) = \frac{(1 - e^{-a\delta})}{(1 - e^{-a})}$$

donde:

- δ es la relación entre la longitud del trayecto y la distancia recorrida con el motor en frío,
- a es una constante.

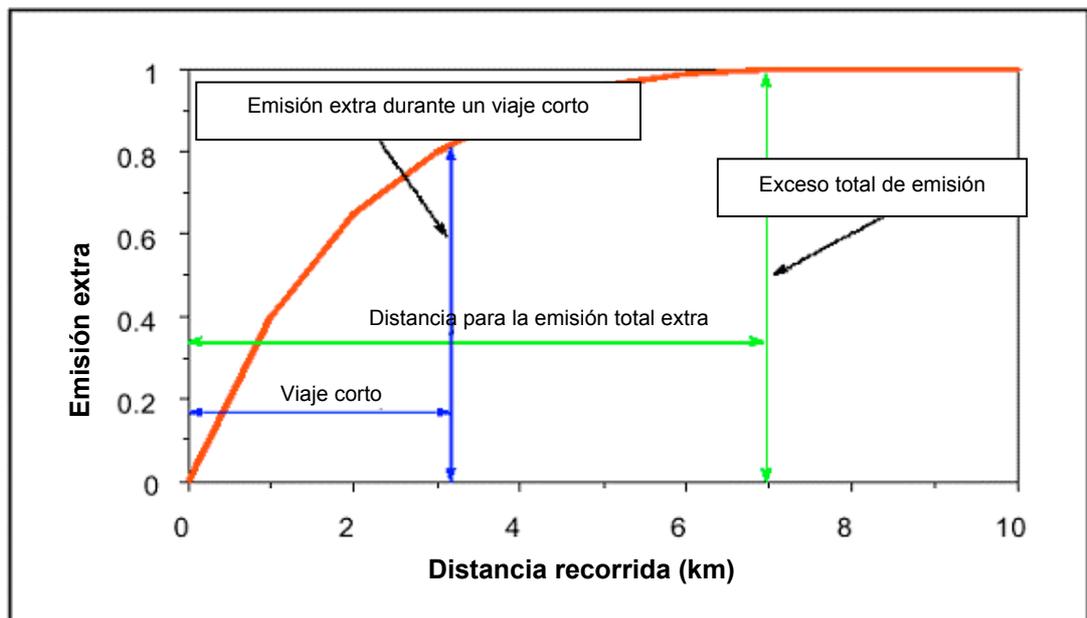


Figura 8: Representación esquemática de la influencia de la longitud del trayecto sobre el exceso de emisión (Meet, informe final)

Cuando la distancia del trayecto es igual a la distancia recorrida en frío, la función es igual a uno. Esta función exponencial adoptada por el proyecto MEET encaja bien con la mayoría de los datos analizados, mostrando la evolución del exceso de emisión dependiendo de la distancia recorrida. En la **Figura 9**, se muestra el caso de los coches de gasolina equipados con catalizador, incluyendo los datos básicos y las estimaciones obtenidas a través de este procedimiento.

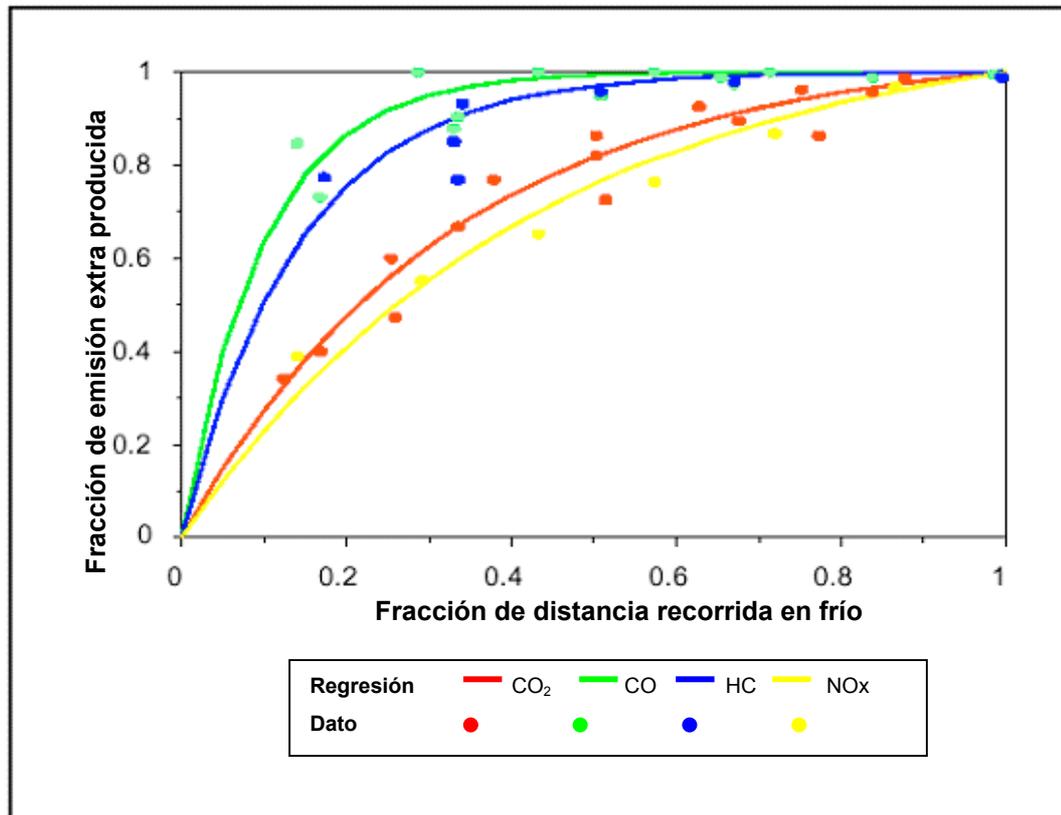


Figura 9: Evolución del exceso de emisión dependiendo de la distancia recorrida (Meet, informe final)

Otros tipos de vehículo

Coches utilitarios diesel con catalizador

En el proyecto MEET se utilizaron los pocos resultados disponibles, obtenidos a partir de los tests realizados sobre coches diesel con catalizador, para indicar el exceso de emisión tomado como referencia (ω) para este tipo de vehículos. A falta de datos adicionales, a las variables $f(V)$, $g(T)$ y $h(d)$ se les otorga el mismo valor que a las utilizadas para los coches diesel que no tienen catalizador.

Vehículos de carga ligera

Debido a que no se dispone de datos específicos sobre los vehículos de carga ligera, según el método MEET, el exceso de emisión de estos vehículos se calcula de la misma manera que para coches utilitarios con el mismo tipo de motor y el mismo sistema de control de emisión.

Vehículos de carga pesada

Sobre este tipo de vehículos se dispone también de muy pocos datos que resulten relevantes (41); sin embargo, fue posible hacer una estimación aproximada de los excesos de emisión que produce este tipo de vehículos (únicamente en el caso de las emisiones de CO₂ y de NO_x existe una relación sistemática entre el tamaño del motor o del vehículo y el exceso de emisión).

Puesto que, para los VCP, los datos operativos que indican el número de arranques en frío al día (u otro periodo de tiempo) son desconocidos, el método MEET asume que **cada vehículo realiza un arranque en frío al día**. Esta asunción, que tiene su base en la idea de que el uso comercial de los VCPs puede significar que este tipo de vehículos se arrancan en frío al comienzo de cada jornada de trabajo, y que, a lo largo del día, sus motores no se paran el tiempo suficiente como para que estos se enfríen de forma significativa. Algunos vehículos realizarán más de un arranque en frío al día pero, en contrapartida, durante los fines de semana y vacaciones algunos de estos vehículos no se utilizan en absoluto.

Autobuses y autocares

Puesto que los autobuses y los autocares normalmente poseen motores diesel del tipo anteriormente expuesto, según el método MEET, el exceso de emisión producido con el motor en frío es igual al producido por los VCP de igual peso. Mientras que el peso de autobuses y autocares varía significativamente dependiendo de su tamaño y de su capacidad, el peso más común es, probablemente, el que está en la categoría que va desde 16 a 32 toneladas.

A falta de información precisa, de nuevo es necesario dar por hecho que cada vehículo realiza un arranque en frío al día.

2.5 Pérdidas por evaporación

Las emisiones de hidrocarburos producidas por los vehículos de motor se deben, principalmente, a las emisiones de salida y a las pérdidas por evaporación que tienen lugar a través del sistema de carburante del vehículo (el depósito del combustible, el carburador o el sistema de inyección, los conductos del combustible). Las emisiones por evaporación se producen debido a la combinación de varios hechos: la volatilidad del carburante, la variación de la temperatura ambiente y los cambios de temperatura que se producen en el sistema de combustible del vehículo durante el proceso normal de conducción (variación de la temperatura debido a la transmisión de calor desde el motor al resto de los componentes del sistema del combustible).

En general, existen cuatro tipos distintos de pérdida por evaporación:

- **Pérdidas por llenado del depósito.** Estas pérdidas se producen cuando el depósito de combustible del vehículo está lleno. Los vapores saturados son desplazados por el carburante líquido y salen a la atmósfera.



Fotografía 6: Emisiones contaminantes producidas por un autocar

- **Pérdidas diurnas.** Estas pérdidas son el resultado del **cambio de temperatura de la noche al día**, que hace que el contenido del depósito del combustible se contraiga y se expanda, liberando los vapores saturados durante la expansión.
- **Pérdidas por absorción de calor.** Estas pérdidas tienen lugar **cuando se para el vehículo tras su funcionamiento** y hasta que se igualan las temperaturas (temperatura ambiente y temperatura del vehículo) se produce la evaporación del combustible en ciertas partes del motor.
- **Pérdidas con el vehículo en funcionamiento.** Estas pérdidas por evaporación tienen lugar cuando el vehículo está en marcha.

Las pérdidas por llenado del depósito se atribuyen normalmente a la cadena de manipulación del combustible y no a las emisiones producidas por el vehículo. Por lo tanto, este tipo de pérdidas por evaporación no se trata en esta parte del proyecto.

Las pérdidas por calor y las diurnas constituyen la parte más importante de las pérdidas producidas por evaporación. En los vehículos de menor antigüedad estas pérdidas deberían ser recogidas en su mayoría por la recogida del condensado (filtro de carbono) instalados en el vehículo. Dependiendo de la temperatura que tenga el motor al dejar de funcionar, se puede distinguir entre pérdidas por absorción de temperatura media o de temperatura elevada. Durante un corto periodo de tiempo, se utilizaron depósitos del combustible de material plástico, lo que permitía la difusión del combustible a través del plástico; en los últimos años, se están utilizando materiales plásticos para recubrir los depósitos (depósitos de plástico sellado) que los hacen impermeables al combustible.

Las pérdidas que tienen lugar con el vehículo en marcha son, de todas las emisiones por evaporación, de las que menos documentación existe. En los coches modernos equipados con filtros de carbono se debería evitar que se produjeran pérdidas por evaporación, pero existen datos que prueban que este tipo de pérdidas se siguen produciendo de todas maneras. En aquellos vehículos sin estos filtros, las pérdidas que tienen lugar mientras el vehículo está funcionando pueden llegar a ser importantes, sin embargo, no se dispone de demasiados datos cuantitativos.

Se sabe que las pérdidas por evaporación producidas por los vehículos dependen de cuatro factores principales:

- la tecnología del vehículo (si está equipado o no con filtros de carbono)
- la temperatura ambiente y cómo varía a lo largo del día
- la volatilidad de la gasolina (dependiendo de los cambios de temperatura)
- las características del proceso de conducción (longitud media del trayecto, tiempo que el vehículo ha estado aparcado, etc.).

Teniendo en cuenta las conclusiones obtenidas tras el análisis detallado y la comparación de los diferentes métodos disponibles, que llevó a cabo el proyecto MEET (49), se eligió el método CORINAIR para ser incorporado al propuesto por el proyecto MEET, debido principalmente a la transparencia de su método de cálculo y a la disponibilidad de los datos requeridos.

El mencionado método CORINAIR (informe del año 1993) se ocupaba de tres tipos de emisiones por evaporación producidas por los vehículos:

- las emisiones diurnas
- las emisiones por absorción de temperatura elevada
- las pérdidas con el vehículo en funcionamiento

En estos tres tipos de emisiones por evaporación influye significativamente la volatilidad de la gasolina utilizada, la temperatura ambiental absoluta, y las características de diseño del automóvil. En el caso de las emisiones por absorción de calor y de las pérdidas con el vehículo en funcionamiento, también es importante el patrón de conducción.

La principal ecuación para hacer la estimación de las emisiones por evaporación es:

$$E_{eva,cov,j} = 365 \times a_j \times (e^d + S^c + S^{fi}) + R$$

donde:

$E_{eva,cov,j}$ son las **emisiones de COV ocasionadas por las pérdidas por evaporación** según la categoría j del vehículo,

a_j es el número de coches de gasolina de la categoría j ,

e^d es la media del **factor de emisión por pérdidas diurnas** de los vehículos de gasolina equipados con depósitos metálicos, dependiendo de la media mensual de la temperatura ambiente, de la variación de temperatura y de la volatilidad del combustible (RPV),

S^c es la media del **factor de emisión por absorción de temperatura, elevada y media**, de los vehículos de gasolina equipados con carburador,

S^{fi} es la media del **factor de emisión por absorción de temperatura, elevada y media**, de los vehículos de gasolina equipados con motor de inyección,

R son las **pérdidas con el vehículo en funcionamiento a temperatura media y elevada**.

Como sucede con otros tipos de emisión, es necesario combinar los factores de emisión con los datos apropiados acerca del uso que se hace del vehículo y de las condiciones del entorno, con el fin de realizar las estimaciones sobre las emisiones ocasionadas por el tráfico. Para ello, se pueden utilizar las siguientes ecuaciones:

$$S^c = (1 - q) \times (p x^{s,hot} + w x e^{s,warm})$$

$$S^{fi} = q e^{fi} x$$

$$R = m_j \times (p e^{r,hot} + w e^{r,warm})$$

donde:

- q es la fracción de vehículos de gasolina equipados con motor de inyección,
- p es la fracción de trayectos terminados con el motor caliente (dependiendo de la media mensual de la temperatura ambiente),
- w es la fracción de trayectos terminados con el motor frío o templado (trayectos más cortos) o con el catalizador con temperatura inferior a la de funcionamiento,
- x es la media de trayectos realizados por vehículo y día, calculada para todo un año, o para periodos de tiempo más cortos,
- $e^{s,hot}$ es el factor de emisión media para emisiones por absorción de temperatura elevada (que depende de la volatilidad del combustible RVP),
- $e^{s,warm}$ es el factor de emisión media para emisiones por absorción de temperatura baja o media (que depende de la volatilidad del combustible RVP y de la media mensual de la temperatura ambiente),
- e^{fi} es el factor de emisión media para emisiones por absorción de temperatura elevada y media de los coches de gasolina equipados con motor de inyección,
- $e^{r,hot}$ es el factor de emisión media para emisiones por pérdidas durante la marcha con el motor en caliente de los vehículos de gasolina (que depende de la RVP de volatilidad del combustible y de la media mensual de la temperatura ambiente),
- $e^{r,warm}$ es el factor de emisión media para emisiones por pérdidas durante la marcha a temperatura media de vehículos de gasolina (depende del RVP de volatilidad del combustible y de la media mensual de la temperatura ambiente),
- m_j es la distancia total recorrida al año por la categoría j de vehículos de gasolina

Los datos relevantes acerca de la actividad desarrollada están reflejados en tablas en las que:

- se exponen los datos estadísticos sobre el uso diario de los coches utilitarios (Tabla 2) – esto es, el promedio de trayectos realizados, la duración y la distancia media de dichos trayectos – para el año en su totalidad y para tres de las estaciones en particular (42) (43).
- se ofrecen detalles acerca de la proporción de trayectos que terminan con una determinada temperatura del motor en función de la temperatura ambiente.

De nuevo, los datos expuestos corresponden a un periodo total de un año por un lado, y a cada una de las estaciones por otro.

Promedio de uso diario – todos los días			
	Duración (min)	Distancia (km)	Número de trayectos
Año	61.4	42.25	4.87
Invierno	68.2	45.77	5.11
Verano	60.4	44.07	4.62
Intermedio	54.2	36.67	4.78
Días en los que se utiliza el coche al menos una vez			
Año	78.6	54.08	6.23
Invierno	83.2	55.81	6.23
Verano	74.3	54.16	5.68
Intermedio	76.3	51.65	6.73

Tabla 2: Promedio de uso diario de los coches utilitarios (Meet, informe final)

2.6 Combustibles alternativos y nuevas tecnologías

Carburantes mejorados – los que ya están en uso y los que estarán disponibles en un futuro próximo

Se espera que los nuevos y mejorados carburantes, que producen una menor cantidad de emisiones, se introduzcan en el mercado en los próximos años. La Orden 98/70/EC establece especificaciones de tipo medioambiental para la gasolina y para el gasoil que entrarán en vigor en dos etapas: la primera en el año 2000 y la segunda en el 2005.

En lo que a la gasolina se refiere, las especificaciones establecidas por esta Orden son las siguientes: reducción del contenido en plomo, azufre, compuestos aromáticos, benceno y olefinas, incremento del contenido en oxigenados, reducción de la presión del vapor Reid e incremento del índice medio (E100) y final (E150) de volatilidad. En el caso del diesel, las especificaciones son: reducción del contenido de azufre y de poliaromáticos, reducción de la destilación final (T₉₅) y de la densidad, así como incremento del número de cetano.

Para calcular los efectos esperados que estos carburantes mejorados debidos a las emisiones de combustión y a las pérdidas por evaporación, existen pocos datos (el programa EPEFE, las actividades del American Auto/Oil dirigidas por el Working Group 1 del European Auto/Oil Programme) (52)(53).

A pesar del hecho de que estos datos hacen referencia exclusivamente a motores y sistemas de control de emisiones nuevos y bien ajustados, el método MEET los adoptó como indicadores de los efectos que los vehículos actuales tienen sobre las emisiones.

Nuevas categorías de vehículos

Coches Utilitarios y vehículos de carga ligera

Los datos recogidos por MEET sobre las emisiones producidas por los CU y los VCL no tienen en cuenta las nuevas tecnologías introducidas en el mundo del automóvil tras la entrada en vigor en la UE de la Orden 91/441/CEE (EURO I). Sin embargo, en el proyecto MEET se propuso introducir factores de reducción con el fin de adaptar los factores de emisión de las diferentes categorías de vehículo a los avances tecnológicos incorporados a los motores. Esta adaptación se basaba en los nuevos estándares de emisión propuestos para los vehículos.

En las siguientes tablas se indican los índices de reducción MEET para vehículos de gasolina y gasoil, que derivaron después en el EURO II y en otras acciones legislativas.

El establecimiento de índices de reducción para los nuevos vehículos se apoyó en la legislación sobre emisiones de la UE y se utilizaron, además, las bases de datos del Programa Suizo/Alemán sobre el Factor de Emisión y del proyecto I/M de la Comisión(55). Para realizar la estimación de los índices de emisión se asumió:

- La reducción total sobre todo el New European Driving Cycle (NEDC) – o Nuevo Ciclo de Conducción Europeo se consigue mediante la reducción de los estándares en cada etapa legislativa;
- Para el EURO II y otros niveles de emisión posteriores, las diferencias entre los estándares establecidos y los niveles reales de emisión se pueden comparar a las de los vehículos del EURO I.

Para calcular los índices de reducción de las emisiones se utilizó un procedimiento de carácter reiterativo (para más información véase el ya mencionado Suplemento 22 del proyecto MEET – Parte A – punto 9.2), y se realizaron los cálculos para cada una de las sustancias contaminantes reguladas y para los estándares establecidos para el EURO II, III y IV.

En el establecimiento de los factores de reducción, también se tuvo en cuenta el hecho de que el modo de realizar el test será modificado con la entrada en vigor del EURO III (no se tendrán en cuenta los 40 segundos anteriores al encendido del motor y las mediciones comenzarán a efectuarse coincidiendo con el momento de arranque del motor), y que este cambio en el modo de proceder tendrá como resultado un incremento de las emisiones durante la realización del test; por lo tanto, las reducciones efectivas de los estándares de emisión son en realidad mayores de lo que el cambio numérico indica.

Índices de reducción de emisiones extra en frío en relación a los niveles de emisión de EURO I (%)			
	CO	COV	NOx
EURO II	30	40	55
EURO III	51	67	73
EURO IV	80	84	88
Índices de reducción de las emisiones en caliente en relación a los niveles de emisión de EURO I (%)			
	CO	COV	NOx
EURO II	5	40	55
EURO III	24	61	73
EURO IV	62	79	87

Tabla 3: Índices de reducción de las emisiones para vehículos de gasolina de EURO II a EURO IV (Meet, informe final)

La **Tabla 3.** presenta los índices de reducción establecidos por el proyecto MEET en relación a los niveles de emisión de la gasolina EURO I. Mientras que los índices de reducción para las emisiones extra en frío y las emisiones en caliente de NOx y COV son iguales o muy similares, los índices de reducción para las emisiones en caliente de CO son mucho más bajos que los establecidos para las emisiones extra en frío.

Para los vehículos diesel, y en el caso de vehículos nuevos, se utilizó el mismo método para establecer los índices de reducción, utilizando, de nuevo, los datos recopilados por el Programa Suizo/Alemania sobre el Factor de Emisión y el proyecto I/M de la Comisión. Los índices de reducción correspondientes establecidos por el proyecto MEET se muestran a continuación en la **Tabla 4.**

En contraste con los vehículos de gasolina, las diferencias entre los índices de reducción para las emisiones extra en frío y los de las emisiones en caliente son pequeñas. Nótese que los vehículos que utilizan EURO I ya están capacitados para alcanzar el estándar de emisión de CO establecido para la EURO II, por lo tanto, en este caso no se aplicó reducción de ningún tipo a pesar de que el estándar se redujo de manera significativa.

Índices de reducción de las emisiones extra en frío en relación a los niveles de emisión de EURO I (%)				
	CO	COV	NOX	partículas
EURO II	0	30	40	30
EURO III	35	51	58	51
EURO IV	55	76	79	76

Índices de reducción de las emisiones en caliente en relación a los niveles de emisión de EURO I (%)				
	CO	COV	NOX	partículas
EURO II	0	30	30	40
EURO III	45	51	51	64
EURO IV	56	76	76	84

Tabla 4: Índices de reducción de las emisiones para vehículos diesel de EURO II a EURO IV (MEET, informe final)

Vehículos de carga pesada

En el momento en el que el proyecto MEET estaba siendo desarrollado, no existían datos suficientes sobre los vehículos que utilizaban EURO I como combustible que sirvieran de base a este nuevo tipo de vehículos (introducido en 1992 para los motores de nueva generación y en 1993 para todo tipo de motores). En lugar de estos datos, se tomó como referencia una serie de vehículos en buen estado representantes de los modelos existentes en el año 1990 y, teniendo en cuenta los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas utilizando para ello 13 tipos de tests distintos, se establecieron los valores medios para esta categoría de vehículos.

Los índices de reducción para los vehículos del tipo EURO I, II, y III se han estimado tomando como base estos valores y teniendo en cuenta los requisitos establecidos a través de distintas acciones legislativas. Así, se propone, por ejemplo, un índice de reducción del 40% de las emisiones de NOx para motores del tipo EURO II: este índice se corresponde con el cambio efectuado previamente para las emisiones anteriores al tipo EURO I (11 g/kW.h) y el requisito exigido por el tipo EURO II (7 g/kW.h). Para los COV y el CO los estándares existentes tienen poco o ningún efecto restrictivo. Por ejemplo, los datos aprobados sobre el tipo medio de COV para motores anteriores al tipo EURO I es de alrededor de 0.6 g/kWh en el test 13, por debajo incluso del estándar establecido para el tipo EURO III (0.66 g/kW.h). Sin embargo, se da por hecho que las emisiones de COV y de CO se reducirán aún más, incluso aunque no lo exija la legislación, debido a que para cumplir los otros estándares es necesaria la aplicación de nuevos avances tecnológicos en el mundo del motor.

Avances tecnológicos en el mundo del automóvil

En el mundo del automóvil están surgiendo una serie de avances tecnológicos cuya entrada en el mercado podría resultar significativa durante los próximos 20 años. Dentro del proyecto MEET, se llevó a cabo un estudio (56) para evaluar las nuevas tecnologías que posiblemente estarán en uso para el año 2020, y para hacer una estimación de las emisiones que ocasionarán. Se analizaron detalladamente los siguientes avances tecnológicos:

- Los vehículos eléctricos
- Los vehículos eléctricos híbridos
- Los vehículos eléctricos con célula de combustible

Los motores de combustión alternativos, como el Stirling, no se incluyeron en el análisis por no haber alcanzado un nivel de desarrollo suficiente como para aplicar su uso en el mundo del automóvil y porque no se cree que su utilización esté muy extendida en el año 2020. El desarrollo tecnológico de los motores convencionales y de los sistemas de control de las emisiones, como por ejemplo los motores de gasolina de inyección directa, se consideró más bien como un avance tecnológico que como nueva tecnología, y contribuirá a conseguir los estándares de emisiones del futuro: en efecto, estos avances tecnológicos se incluyen de forma implícita en la evaluación de los factores de emisión establecidos para las categorías de vehículos de un futuro próximo. A continuación, se ofrece un resumen de los resultados más importantes a los que llegó el estudio MEET.

Vehículos eléctricos

Los vehículos eléctricos tienen una larga historia a sus espaldas y, hasta la década de los 20, han competido en términos de igualdad con los vehículos con motor de combustión interna. Sin embargo, mientras que los motores de combustión interna iban evolucionando, los vehículos eléctricos no fueron capaces de seguir el ritmo de esta evolución, y su popularidad decayó. Los vehículos desarrollados recientemente han perfeccionado su funcionamiento (los prototipos han llegado a los 150 km/h y tienen un tiempo de aceleración inferior a 8 segundos de 0 a 100 km/h), pero aún está limitada su autonomía.

Uno de los principales estímulos para la investigación llevada a cabo recientemente es el requisito exigido por la California Air Resources Board (CARB) consistente en que el incremento en las ventas de coches debería corresponderse con ventas de vehículos de ‘emisión cero’ (VEC). En un principio, la proporción de VEC exigida era de un 2% de las ventas en el año 1998, de un 5% para el 2003 y de un 10% para el 2007. Con posterioridad, el 2% exigido para el año 1998 bajó, pero el porcentaje fijado para el año 2003 se incrementó hasta llegar al 10%. Más de una docena de estados han seguido las pautas marcadas por California, y la mayoría de los fabricantes están desarrollando prototipos de vehículos eléctricos para su posterior producción.

Algunas de las características de los vehículos eléctricos superan a las de los vehículos con motor de combustión interna. Son silenciosos, no producen emisiones durante su funcionamiento, no utilizan energía cuando están parados y no ocasionan pérdidas durante el calentamiento. Los motores eléctricos consiguen un par motor muy alto a bajas revoluciones, grandes velocidades, y tienen un rendimiento eficiente y constante.

Sin embargo, el rendimiento de los vehículos eléctricos se ve limitado por la batería, que supone una cuarta parte del peso total del vehículo. En la actualidad, numerosas organizaciones están llevando a cabo una considerable labor de investigación y desarrollo de la tecnología aplicable a las baterías. Las casas Chrysler, Ford y General Motors, por ejemplo, formaron el llamado US Advanced Battery Consortium con el fin de crear baterías apropiadas para los vehículos eléctricos.

Los objetivos fijados por esta organización en cuanto a los requisitos de funcionamiento de una batería se comparan con la situación actual en la **tabla número 5 (57)**.

	Potencia específica (W/kg)	Densidad de energía (Wh/l)	Energía específica (Wh/kg)	Vida (y)	Ciclos de vida (ciclos)	Coste (\$/kWh)
Objetivos del US Advanced Battery Consortium						
Medio plazo	150	135	80	5	600	<150
Largo plazo	400	300	200	10	1000	<100
Situación actual						
Plomo-ácido	67 - 183	50 - 82	18 - 56	2 - 3	450 - 1000	70 - 100
Níquel-hierro	70 - 132	60 - 115	39 - 70	n/a	440 - 2000	160 - 300
Níquel-cadmio	100 - 200	60 - 115	33 - 70	n/a	1500 - 2000	300
Níquel-hidruro metálico	200	152 - 215	54 - 80	10	1000	200
Sodio-azufre	90 - 130	76 - 120	80 - 140	n/a	250 - 600	>100
Sodio-cloruro de níquel	150	160	100	5	600	>350

Tabla 5: Objetivos y situación actual de las características de la batería para vehículos [de (57)]

En la actualidad, la mayoría de los vehículos eléctricos utilizan baterías de plomo y ácido o níquel y cadmio, que son las que se llevan utilizando durante más tiempo. Las baterías de plomo y ácido son baratas y duran bastante, sin embargo, tienen poca potencia y densidad de energía. Las baterías de níquel y cadmio tienen mayor densidad de energía y los ciclos de vida es mayor, pero tiene un precio tres veces mayor que la de plomo y ácido, y tiene el inconveniente de que, con su uso, el cadmio podría llegar al medio ambiente en grandes cantidades. La batería más apropiada para los vehículos eléctricos del futuro es la de níquel – hidruro metálico. Tiene mayor potencia y densidad de la energía, además de ser de más larga duración, pero es cara en comparación con la batería de plomo – ácido.

Aunque la potencia media requerida por un vehículo eléctrico puede variar entre 10 y 20 kW, la potencia máxima necesaria durante la aceleración y para las pendientes ascendentes puede llegar a ser 10 veces mayor. Una batería capaz de producir dicha potencia resultaría demasiado grande y pesada. Por lo tanto, el uso adicional de una fuente de potencia de alta densidad como es el volante de inercia es una buena opción.

Vehículos eléctricos híbridos

Los vehículos eléctricos híbridos combinan un motor eléctrico con un motor de combustión: cuenta con dos configuraciones generadoras de potencia principales: configuración de serie y configuración paralela. La configuración de serie consiste en un motor que pone en movimiento un generador, el cual produce la energía que mueve al automóvil. En este sistema, un pequeño motor trabaja a máximo rendimiento, lo que tiene como resultado un ahorro considerable de combustible y bajos índices de emisión. La configuración paralela permite el uso tanto del motor de combustión como del motor eléctrico. Estos sistemas han sido diseñados para que el

motor trabaje con el vehículo cargado, que es cuando su rendimiento será mayor. Un vehículo de este tipo podría con la batería eléctrica en las áreas urbanas o a baja velocidad, mientras que, en autopista, el motor de combustión podría ser la principal fuente de energía, ayudándose de la energía eléctrica para acelerar. El motor puede actuar también como un generador y se puede utilizar para alimentar la batería, bien sea durante el frenado o en aquellos casos en los que no toda la potencia del motor está siendo utilizada para poner en movimiento el vehículo.

Vehículos eléctricos con célula de combustible

Las células de combustible generan electricidad directamente a partir de la reacción química que se produce entre el hidrógeno y el oxígeno, y evitan las ineficiencias de la producción de electricidad por métodos tradicionales. En la actualidad, muchos fabricantes de vehículos están interesados en el desarrollo de los sistemas de células de combustible para poder aplicarlos al mundo de la automoción. Los tipos más adecuados para este fin son el ácido fosfórico y la membrana de cambio de protones (MCP); actualmente, la mayoría de las investigaciones se están centrando en este tipo de sistemas.

Aunque la reacción responsable de la generación de electricidad es la que tiene lugar entre el hidrógeno y el oxígeno, se pueden utilizar varios carburantes para producir el hidrógeno necesario. De igual forma se puede emplear directamente hidrógeno, pero no es conveniente almacenarlo dentro del vehículo y tampoco existe la apropiada infraestructura para su correcta distribución. La mayoría de las investigaciones centran su atención en los combustibles orgánicos líquidos, llevando a bordo del vehículo un convertidor de gases para extraer el hidrógeno. El metanol y la gasolina serían los carburantes más apropiados, pero también se podrían utilizar otros (en teoría, se podría usar cualquier combustible que pueda ser transformado para producir hidrógeno).



Fotografía 7: Vehículos eléctricos de célula de combustible

Composición prevista del parque móvil europeo

Prever la aparición de nuevas tecnologías en los próximos 20 años es una tarea difícil. A lo largo de los años, muchas de las nuevas tecnologías han intentado, sin éxito, romper el monopolio de los motores de combustión interna. Sin embargo, la creciente presión que existe en el sector del transporte para mitigar el impacto que produce sobre el medio ambiente está, sin duda, provocando la necesidad de un cambio. La estimación de la entrada de las nuevas tecnologías en el mercado de la automoción se muestra a continuación en la **Tabla 6**, y se puede aplicar a todas las categorías de vehículos.

Se da por hecho que para el año 2020 cada uno de los avances tecnológicos se habrá abierto un hueco importante en el mercado. Sin embargo, también es posible que uno de ellos prevalezca sobre los demás y domine el mercado. De nuevo, esto resulta imprevisible, por lo que en la estimación se han incluido todos los avances tecnológicos.

Para calcular el número de vehículos de nueva tecnología que componen el parque móvil europeo es necesario hacer una estimación del número de vehículos que se incorporan cada año. Se entiende que la vida media de un coche es de 15 años y que, después de esos 15 años, el vehículo abandona el parque móvil.

Tipo de vehículo	% Reparto del mercado			
	Estimación pesimista		Estimación optimista	
	2010	2020	2010	2020
VE	0.5	5	1	10
VEH	1	10	2	20
VECC	0	5	0	10

Tabla 6: Porcentajes estimados del reparto del mercado para los vehículos de nueva tecnología para el 2010 y el 2020 (Meet, informe final)

El crecimiento del parque móvil entre 1990 y el año 2020 (51) se extrapoló a lo sucedido en el año 1980, como muestra la **Figura 10**.

Llegados a este punto, se dio por hecho que la composición demográfica del parque móvil estaba distribuida de forma equilibrada, con el mismo número de vehículos para cada grupo de edad. A partir de estos supuestos se estimó el número de coches que dejan de formar parte del parque móvil, lo que permite hacer una estimación aproximada del número total de vehículos nuevos al año.

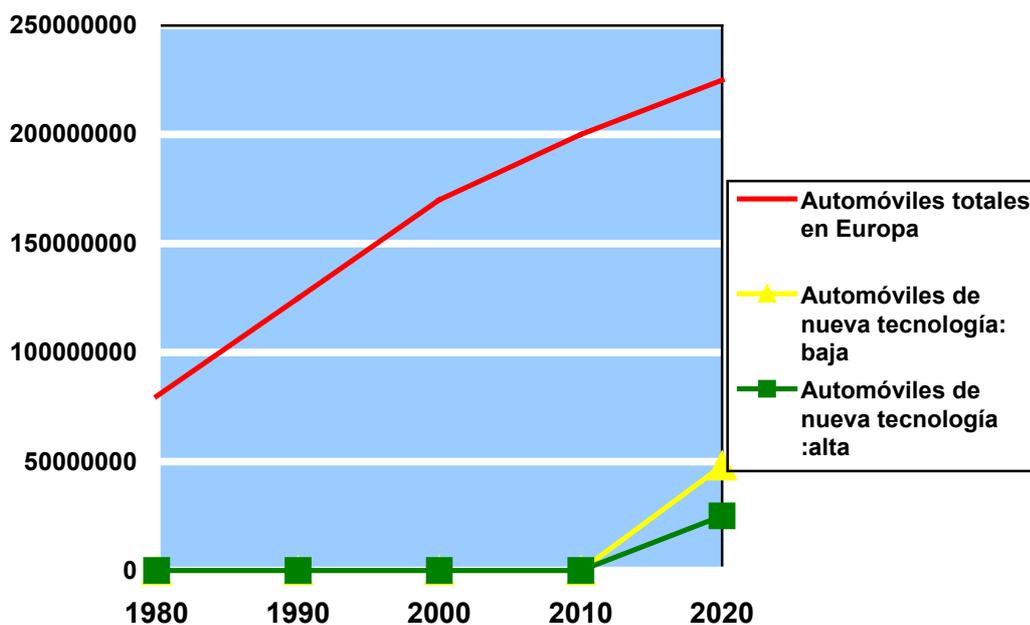


Figura 10: Parque móvil total de Europa y estimaciones de los vehículos de nueva tecnología (Meet, informe final)

Combustibles alternativos

En este apartado se hace un resumen de las principales características de los combustibles alternativos que se pueden aplicar al sector de la automoción, centrándose en aquellos combustibles que podrían hacerse un hueco importante en el mercado en los próximos 20 años.

Entre estos combustibles se incluye el gas natural, el metanol, el etanol, el biodiesel y el éter dimetílico.

En varios casos se comentan también los inconvenientes de utilizar combustibles alternativos, como pueden ser el efecto negativo que producen en el rendimiento térmico del motor, las emisiones de contaminantes no reguladas, etc.

En el Suplemento 26 (56) del proyecto MEET se puede encontrar un informe completo sobre el estudio llevado a cabo acerca de los carburantes alternativos. También se puede encontrar más información en la versión extensa de este documento.

Natural Gas

El gas natural comprimido (GNC) tanto con motores de combustible doble como con motores exclusivamente de este combustible. En los motores de combustible doble el GNC se mezcla con el aire en los cilindros y la mezcla obtenida se prende inyectando una pequeña cantidad de gasoil cuando el pistón se acerca al final del proceso de compresión. El gasoil prende rápido debido al calor de la compresión y prende, entonces, a su vez la mezcla de aire/GNC. Entre las ventajas de los motores de combustible doble está la de que pueden estar diseñados para funcionar alternativamente tanto con gas natural con un piloto de gasoil como exclusivamente con gasoil. En los motores de uso exclusivo con GNC es necesario instalar un sistema de encendido por chispa, pero tiene la ventaja de necesitar solamente un sistema de combustible único.

Una desventaja del GNC es que los vehículos que lo utilizan necesitan repostar en estaciones de servicio especiales. En estas estaciones de servicio se suministra gas a baja presión, mientras que la presión de almacenaje en el vehículo es mucho mayor. Otro inconveniente es que la composición del GNC tiende a variar de forma significativa de una vez para otra y de una ciudad a otra (61). El GNC posee buenas propiedades antidetonantes (su RON es de 120) y produce una combustión estable y escasa. (62).

Basándose en la revisión de los datos disponibles, se puede afirmar que:

- Está claro que las emisiones de CO se reducen con el uso de GNC.
- Está claro que hay un incremento de las emisiones de HC. Esto se debe a que las emisiones de metano son bastante elevadas, y a que el catalizador de 3 vías no resulta muy eficaz con esta sustancia.
- Se reducen generalmente las emisiones de NOx .
- Las emisiones de partículas ligeras son mucho más bajas que las producidas por un motor diesel.
- El consumo de combustible de los vehículos que utilizan GNC es similar al de los vehículos que utilizan carburantes convencionales.
- Se reduce también la emisión de algunas sustancias contaminantes no reguladas (HCLM, benceno, butadieno, formaldehído y acetaldehído).

Metanol

El metanol tiene buenas propiedades de combustión y de emisión. Su índice de octanaje de 110 y sus excelentes propiedades de escaso consumo hacen de él un combustible apropiado para los motores de ocho ciclos de bajo consumo. Debido a la baja presión de su vapor, el metanol produce escasas emisiones por evaporación. El metanol se puede derivar del gas natural, del petróleo sin refinar o de la biomasa o los residuos urbanos. Con los precios actuales, la forma más económica de producir metanol es a partir del gas natural.

La baja densidad de la energía del metanol hace que se requiera aproximadamente dos veces su peso para obtener la misma potencia que con la misma cantidad de gasolina. La alta temperatura de evaporación del metanol, junto con la gran cantidad necesaria, dificulta su completa evaporación. Los motores de 8 ciclos que utilizan metanol puro son casi imposibles de arrancar



Fotografía 8: Vehículo que funciona con metanol

por debajo de los 5°C si no llevan pilotos de combustible o un sistema suplementario de calentamiento. Este hecho a llevado a la creación de una mezcla compuesta por un 85% de metanol y un 15% de gasolina (la llamada M85) para ser utilizada por la nueva generación de vehículos de carga ligera que utilizan metanol como combustible. Sin embargo, con el uso de M85 se han perdido la mayoría de las ventajas que el metanol tenía en cuanto al tema de las emisiones contaminantes.

Se han desarrollado vehículos capaces de funcionar con una combinación de gasolina y de metanol en una proporción de más de un 85%, y su comportamiento está siendo analizado. Los motores y sistemas de control de emisión de estos vehículos son similares a los que llevan los vehículos de gasolina de última generación y su rendimiento y propiedades de emisión son también parecidas. Los vehículos de carga pesada también pueden funcionar con metanol si se les realiza una serie de ajustes técnicos. En cuanto a su distribución, en el caso del metanol se puede usar el mismo tipo de equipamiento y seguir el mismo procedimiento que se utiliza actualmente en la distribución de la gasolina, aunque sería necesario realizar algunos cambios en cuanto a los materiales puesto que el metanol es mucho más corrosivo que la gasolina (63).

Existen importantes diferencias en la emisión de algunos compuestos que aún no están regularizados. Las emisiones de benceno y HPA son menores que las producidas por los vehículos de gasolina y diesel, sin embargo, las de formaldehído son cinco veces mayores.

Etanol

Al ser el siguiente compuesto de mayor peso molecular entre los alcoholes, el etanol se parece al metanol en la mayoría de sus propiedades físicas y de combustión. El etanol se puede conseguir a partir de ciertos cultivos agrícolas, como la caña de azúcar o el maíz, pero el proceso resulta más caro que la producción de metanol y se requiere además mayor cantidad de materia prima y de energía (63). Como en el caso del metanol, la energía producida a partir de etanol es de menor densidad que la producida por la gasolina, además, el etanol es de difícil evaporación debido a la baja presión de su vapor y a la alta temperatura a la que se produce dicha evaporación (63). Cuando el etanol se mezcla con la gasolina en proporciones superiores a un 22%, el combustible resultante se puede utilizar con motores convencionales de encendido

eléctrico. El uso del etanol como combustible para ser mezclado con la gasolina está muy extendido en Brasil, África del Sur, y los Estados Unidos. El etanol puede ser distribuido utilizando el mismo sistema y procedimientos usados en la distribución de la gasolina. El etanol no es tan corrosivo como el metanol, aún así no es compatible con ciertos materiales que sería necesario cambiar.

Las emisiones de acetaldehído producidas por el etanol son mucho mayores que las producidas por la gasolina o el diesel, mientras que las emisiones de benceno, butadieno y HPA son considerablemente más bajas.

Biodiesel

La Sociedad Americana para el Análisis de Materiales ha definido el biodiesel como “ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga de lípidos renovables, como el aceite de origen vegetal y las grasas animales, que se utilizan en el funcionamiento de los motores de compresión (diesel)”. En los años 70 y 80, las investigaciones estaban dirigidas bien a su estado puro y aceites vegetales parcialmente esterificados, o bien en combinación con diesel fósil. Sin embargo, su utilización ocasiona una serie de problemas en el motor y en los inyectores, por lo que ya no se usa sin esterificación.

Algunas de las características del biodiesel, como son su elevado índice de cetano y su buena lubricidad, resultan claramente ventajosas, mientras que otras, como por ejemplo su menor valor calorífico, su punto de congelación más elevado, y sus propiedades corrosivas, son, por el contrario, algunas de sus desventajas (64).

Se han realizado estudios (65)(66)(67) a nivel mundial acerca de las emisiones de salida (por el tubo de escape) procedentes de combustibles biodiesel, pero los resultados obtenidos resultan a menudo poco concluyentes y, a veces, contradictorios.

Éter dimetílico

El éter dimetílico (EDM) ha surgido recientemente como una buena alternativa de combustible para los motores diesel. El EDM se puede conseguir a partir de gran variedad de materias primas de origen fósil, incluidos el gas natural y el carbón, y de materias renovables y residuales (68). En cuanto a las características físicas, el EDM es parecido a los gases licuados del petróleo (GLP), con una presión del vapor relativamente baja a temperatura ambiente. Tiene un índice de cetano relativamente alto (55 - 60), pero menor valor calorífico que el diesel. La propiedad más significativa del EDM, en cuanto a su rendimiento con un motor diesel, es su baja temperatura de autoencendido, que es parecida a la del diesel normal. Resultados preliminares han demostrado que el uso del EDM como sustituto del carburante diesel requiere efectuar pocos cambios en el motor. Puesto que el EDM contiene ninguna o muy pocos enlaces carbono-carbono, durante la combustión las emisiones de HPA o benceno, de tolueno y de xileno son nulas o muy escasas. Como también se demostró (69), las emisiones de aldehído producidas por el EDM son más bajas que las que ocasionan los motores diesel.

3. Ejemplos y Ejercicios

3.1 Ejemplo de ejercicio de cálculo de las emisiones extras producidas durante el proceso de encendido

El procedimiento a seguir para realizar la estimación de las emisiones producidas durante el proceso de encendido de un vehículo (véase el apartado 2.4) se puede ilustrar con el siguiente ejemplo: se hace una estimación de la emisión extra de CO producida por un coche de gasolina equipado con catalizador para un trayecto de 3 km, y a una velocidad media de 30 km/h, con una temperatura de arranque de 10°C.

La ecuación básica es: $emisión\ extra = \omega \times [f(V) + g(T) - 1] \times h(d)$

Según la Tabla A50, $\omega = 28.71$ g.

La función de corrección de la velocidad es (Tabla A51): $f(V) = 1.0261 - 0.0013V$

Por lo tanto, como $V = 30$ km/h, $f(V) = 0.987$

La función de corrección de la temperatura es (Tabla A52): $g(T) = 6.1829 - 0.2591T$

que, para $T = 10^\circ\text{C}$, tiene un valor de 3.592

La corrección de la distancia recorrida viene dada por la siguiente fórmula:

$$h(d) = \frac{(1 - e^{-a\delta})}{(1 - e^{-a})} ; \delta = \frac{d}{d_c} ; d_c = -0.14 + .24V \quad (\text{Tabla A53})$$

Puesto que $d = 3$ km, $V = 30$ km/h y $a = 10.11$ (Tabla A54), $h(d) = 0.986$

Por lo tanto: $emisión\ extra = 28.71 \times [0.987 + 3.592 - 1] \times 0.986 = 101.3$ g

3.2 Otras aplicaciones prácticas

Están disponibles, aunque no son de uso gratuito, una serie de instrumentos informáticos que pueden resultar de utilidad (COMMUTE, COPERT, etc.). Se puede organizar una sesión de carácter práctico con el fin de mostrar sus aplicaciones a la hora de realizar las estimaciones de las emisiones contaminantes producidas por el tráfico.

El material informático de COMMUTE está disponible en las siguientes direcciones:

Heich Consult, Bergiusweg 1; D-50354 Hirth;

heich@compuserve.com Tel: +49.2233.939665 Fax: +49.2233.939667

Para conseguir la licencia de utilización, contactar con la compañía mencionada más arriba.

4. Bibliografía

1. OECD (1997) Environmental data compendium. OECD Publication Services, Paris
2. Joumard R (1999) Methods of estimation of atmospheric emissions from transport: European scientist network and scientific state-of-the-art. INRETS report LTE 9901. Bron, France.
3. EMEP/CORINAIR (1996) Atmospheric Emission Inventory Guidebook, first edition European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.
4. EMEP/CORINAIR (1998) Atmospheric Emission Inventory Guidebook, draft second edition. EMEP Task Force on Emission Inventories, Internet site <http://www.aeat.co.uk/netcen/airqual/TFEI/unece.htm>.
5. IPCC/OECD/IEA (1997) Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
6. ECMT (1998) Statistical trends in transport 1965 - 1994. OECD Publication Services, Paris.
7. European Commission (1997) EU transport in figures. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
8. 8. Department of the Environment, Transport and the Regions (1997) Digest of environmental statistics, No 19. The Stationery Office, London.
9. Faiz A, C Weaver and M Walsh (1996) Air pollution from motor vehicles - standards and technologies for controlling emissions. The World Bank, Washington DC.
10. 10. Jost P, D Hassel, F J Weber and K S Sonnborn (1992) Emission and fuel consumption modelling based on continuous measurements. Deliverable 7 of the DRIVE project V1053 - MODEM. TÜV Rheinland, Cologne, Germany.
11. Sturm P J, P Boulter, P de Haan, R Joumard, S Hausberger, J Hickman, M Keller, W Niederle, L Ntziachristos, C Reiter, Z Samaras, G Schinagl, T Schweizer and R Pischinger (1998) Instantaneous emission data and their use in estimating passenger car emissions. Deliverable 6 of the MEET project. VKM-THD Vol. 94, Technical University of Graz, Graz, Austria.
12. Pischinger R and J Haghofner (1984) Eine Methode zur Berechnung des Kraftstoffverbrauches und der Schadstoffemissionen von Kraftfahrzeugen aus dem Geschwindigkeitsverlauf. SAE Paper 845114. Society of Automotive Engineers, Warrendale, USA.
13. Sturm P J, K Pucher and R A Almbauer (1994) Determination of motor vehicle emissions as a function of the driving behaviour. Proceedings of the Conference "The emissions inventory: perception and reality", pp 483 - 494. Air and Waste Management Association, Pittsburgh, USA.
14. Sorenson S C and J Schramm (1992) Individual and public transportation emissions and energy consumption models. Report RE 91-5, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.
15. Joumard R, P Jost, J Hickman and D Hassel (1995) Hot passenger car emissions as a function of instantaneous speed and acceleration. Science of the Total Environment, 169, pp 167 - 174. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

16. Hassel D, P Jost, F J Weber, F Dursbeck, K S Sonnborn and D Plettau (1994) Das Emissionsverhalten von Personenkraftwagen in der BRD im Bezugsjahr 1990. Berichte 8/94. Erich Schmidt Verlag, Berlin, Germany.
17. Keller M, R Evequoz, J Heldstab and H Kessler (1995) Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs 1950 - 2010. Schriftenreihe Umwelt Nr. 255. BUWAL, Bern, Switzerland.
18. EMPA (1997) Nachführung der Emissionsgrundlagen Strassenverkehr: Anwendungsgrenzen von Emissionsfunktionen, Analyse der Messdatenstreuung. EMPA Bericht 166,558. BUWAL- Arbeitsunterlage 4, Dübendorf, Switzerland.
19. INFRAS (1998) Anwendungsgrenzen von Emissionsfunktionen: Ergänzende Analysen zum EMPA Messprogramm 1997. BUWAL- Arbeitsunterlage 6, Bern, Switzerland.
20. Joumard R, F Philippe and R Vidon (1998) Reliability of the current models of instantaneous pollutant emissions. 6th International Highway and Urban Pollution Conference, Ispra, Italy.
21. Reiter C (1997) Erstellung von Emissionskennfeldern. Diplomarbeit. Technical University of Graz, Graz, Austria.
22. BUWAL (1994) Ergänzungsmessungen zum Projekt "Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs in der Schweiz 1990 - 2010. BUWAL- Arbeitsunterlage 17, Bern, Switzerland.
23. Colwill D M, A J Hickman and V H Waterfield (1985) Exhaust emissions from cars in service - changes with amendments to ECE Regulation 15. Supplementary Report 840. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, UK.
24. Sturm P J (1995) Abgasemissionen des Strassenverkehrs und ihre Ausbreitung in der Atmosphäre. Fortschrittsberichte Reihe 15, Nr. 139. VDI Verlag, Düsseldorf, Germany.
25. Boulter P (1998) Personal communication with P Boulter, TRL, Crowthorne, UK. A17. Philippe F (1996) Modélisation des émissions instantanées de polluants automobiles. Report LEN 9613. INRETS, Bron, France.
26. Vidon R, C Pruvost and P Tassel (1998) Evaluation de la dispersion des mesures d'émissions de polluants sur différents cycles. Report LEN 9804. INRETS, Bron, France.
27. Ahlvik P, S Eggleston, N Gorissen, D Hassel, A J Hickman, R Joumard, L Ntziachristos, R Rijkeboer, Z Samaras and K H Zierock (1997) COPERT II: methodology and emission factors, Draft Final Report. European Environment Agency, European Topic Centre on Air Emissions, Copenhagen, Denmark.
28. Samaras Z and L Ntziachristos L (1998) Average hot emission factors for passenger cars and light duty trucks. Deliverable 7 of the MEET project. LAT Report 9811. Aristotle University Thessaloniki, Thessaloniki, Greece.
29. Eggleston S, D Gaudioso, N Gorissen, R Joumard, R C Rijkeboer, Z Samaras and K H Zierock (1993) CORINAIR Working Group on Emission Factors for Calculating 1990 Emissions from Road Traffic. Volume 1: Methodology and emission factors. Final Report. Document of the European Commission ISBN 92-826-5571-X.
30. INFRAS (1995) Workbook on emission factors for road transport: explanatory notes. INFRAS, Bern, Switzerland.
31. Latham S and A J Hickman (1990) Exhaust emissions from heavy duty diesel engined vehicles. Science of the Total Environment, 93, 139-145. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

32. Van de Weijer C J T, R van der Graaf, P Hendriksen and R P Verbeek (1993) Urban bus driving cycle. Presented at the 4th International EAEC Conference on Vehicle and Traffic Systems Safety, Strasbourg, France.
33. Sams T and J Tieber (1996) Emission behaviour of heavy duty vehicles - a holistic calculation method. Proceedings of the 3rd Symposium on Traffic Induced Air Pollution. Technical University of Graz, Graz, Austria.
34. Hickman A J (1997) Emission functions for heavy duty vehicles. Deliverable 10 of the MEET project. Project Report SE/289/97. Transport Research Laboratory, Crowthorne, UK.
35. Rijkeboer R C (1997) Emission factors for mopeds and motorcycles. Deliverable 11 of the MEET project. TNO, Delft, The Netherlands.
36. Hassel D and F J Weber (1997) Gradient influence on emission and consumption behaviour of light and heavy duty vehicles. Deliverable 9 of the MEET project. TÜV Rheinland, Cologne, Germany.
37. VTI (1996) Influence of ambient temperature on warm engine exhaust emissions from passenger cars. Report 709A. VTI, Linköping, Sweden.
38. ADEME (1996) La climatisation automobile: impact énergétique et environnementaux premier constat. ADEME, Paris, France.
39. UTAC (1997) Evaluation de l'influence de la climatisation sur la consommation de carburant et les émissions de polluants des automobiles. Process Verbal Nr. 96/04666. UTAC, France.
40. Sérié E and R Joumard (1997) Modelling of cold start emissions for road vehicles. Deliverable 8 of the MEET project. Report LEN9731. INRETS, Bron, France.
41. Kurtul S and M A Graham (1992) Exhaust emission tests on ten heavy duty diesel engines. Report CR 275. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, UK.
42. André M, A J Hickman, D Hassel and R Joumard (1995) Driving cycles for emissions measurements under European Conditions. SAE Technical Paper Series 950926, Reprinted from: Global Emission Experiences: Processes, Measurements, and Substrates (SP-1094), SAE, Warrendale, USA.
43. André M (1997) Driving patterns analysis and driving cycles, within the project: European Development of Hybrid Technology approaching efficient Zero Emission Mobility (HYZEM). Report LEN 9709. INRETS, Bron, France.
44. Kyriakis N A and M André (1997) Cold start of passenger cars. In: 4th Colloque internationale "Transport et pollution de l'air", Avignon. Preactes Report LEN9718. INRETS, Bron, France.
45. André M, R Vidon, C Pruvost and P Tassel (1997) Usages et conditions de fonctionnement des petits vehicules utilitaires (EUREV-PVU) - Bilan des experimentations. Report LEN9708. INRETS, Bron, France.
46. André M, I Reynaud and U Hammarström (1998), Driving statistics for the assessment of pollutant emissions from road transport. Deliverable 15 of the MEET project. Report LEN9730. INRETS, Bron, France.
47. CONCAWE (1987) An investigation into evaporative hydrocarbon emissions from European vehicles. Report 87/60. CONCAWE, The Hague, Netherlands.
48. CONCAWE (1990) The effects of temperature and fuel volatility on vehicle evaporative emissions. Report 90/51. CONCAWE, The Hague, Netherlands.

49. Samaras Z, T Zachariadis and M Aslanoglou (1997) Evaporative emissions. Deliverable 14 of the MEET project. LAT Report 9717. Aristotle University Thessaloniki, Thessaloniki, Greece.
50. EUROSTAT Road goods transport and Transport: annual statistics. EUROSTAT, Luxembourg.
51. Kyriakis N, Z Samaras and A Andrias (1998) Road traffic composition. Deliverable 16 of the MEET project. LAT Report 9823. Aristotle University Thessaloniki, Thessaloniki, Greece.
52. ACEA and EUROPIA (1996) European Programme on Emissions, Fuels and Engine Technologies. Final Report. Brussels, Belgium.
53. ACEA, EUROPIA and European Commission (1995) Effect of Fuel Qualities and Related Vehicle Technologies on European Vehicle Emissions - An Evaluation of Existing Literature and Proprietary Data. Final Report. Brussels, Belgium.
54. European Commission (1996) Air Quality Report of the Auto Oil Programme – Report of Subgroup 2. Brussels, Belgium.
55. Samaras Z, T Zachariadis, R Joumard, I Vernet, D Hassel, F J Weber and R Rijkeboer (1997) Alternative short tests for Inspection & Maintenance of in-use cars with respect to their emissions performance, Proceedings of the 4th International Symposium Transport and Air Pollution, Avignon, France.
56. Samaras Z, R Coffey, N Kyriakis, G Koufodimos, F J Weber, D Hassel and R Joumard (1998) Emission factors for future road vehicles. Deliverable 26 of the MEET project. LAT Report 9829. Aristotle University Thessaloniki, Thessaloniki, Greece.
57. Harrop G (1995) The future of the electric vehicle. A viable market? Financial Times Management Reports. Financial Times, London, UK.
58. Ebner J (1998) Personal communication, Daimler-Benz. Nowell G P (1998) The promise of methanol fuel cell vehicles. American Methanol Institute. Mark J, J M Ohi and D V Hudson (1994) Fuel savings and emissions reductions from light duty fuel cell vehicles. NREL. Tennant C, R Atkinson, M Traver, C Atkinson and N Clark (1994) Turbocharging a bi-fuel engine for performance equivalent to gasoline. SAE Paper 942003. Society of Automotive Engineers, Warrendale, USA.
59. Hara K, H Yonetani, N Okanishi and I Fukutani (1994) CNG utilization in small engines. SAE Paper 940763. Society of Automotive Engineers, Warrendale, USA.
60. Maxwell T T and J C Jones (1995) Alternative fuels: emissions, economics and performance. Society of Automotive Engineers, Warrendale, USA.
61. Howell S (1997) US biodiesel standards - an update on current activities. SAE Paper 971687. Society of Automotive Engineers, Warrendale, USA.
62. Hansen K F and M G Jensen (1996) Chemical and biological characteristics of exhaust emissions from a DI diesel engine fuelled with rapeseed oil methyl ester (RME). SAE Paper 971689. Society of Automotive Engineers, Warrendale, USA.
63. McDonald J (1995) Emission characteristics of soy methyl ester fuels in an IDI compression ignition engine. SAE Paper 950400. Society of Automotive Engineers, Warrendale, USA. 67. Grägg K (1994) Effects of environmentally classified diesel fuels, RME and blends of diesel fuel and RME on the exhaust emissions. Motor Test Center Report 9209 B. Motor Test Center, Sweden.

64. Glensvig M, S C Sorenson and D Abata (1996) High pressure injection of dimethyl ether. 1996 ASME Internal Combustion Engine Division Conference. Dayton, Ohio, USA.
65. Dieselnet Web site - http://www.dieselnet.com/tech/fuel_dme.html
66. Eva Ericsson (2000) Urban driving patterns – characterization, variability and environmental implications, Bulletin 186, LUND University, Lund institute of technology, Department of technology and society, Traffic planning – Lund

5. Glosario

Biodiesel: ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga de lípidos renovables, como el aceite vegetal, y las grasas animales, para su aplicación al funcionamiento de los motores diesel.

Categorías de vehículos según la emisión que ocasionan: categorías o tipos de vehículos creadas tomando como base el nivel de control de emisión de dichos vehículos, según las diferentes fases legislativas de la EU.

Ciclo de conducción: un ciclo estándar del funcionamiento del vehículo (ej., el ciclo urbano de los coches aprobado por la UE; véase la fig. 2.) que reproduce un patrón de conducción; las mediciones de las que se derivan la relación entre velocidad y emisión producida se realiza gracias a un dinamómetro colocado en el chasis del vehículo que realiza el test a un determinado acerca de las emisiones contaminantes que tienen lugar durante dicho ciclo.

Composición del tráfico: la composición media del tráfico rodado que depende del número de vehículos existente en cada categoría relacionada con un tipo de emisión y la distancia anual media que recorre dicha categoría.

COST: Proyecto de Cooperación Europea en el Campo de la Investigación Científica

COV: Compuestos volátiles de origen orgánico

EDM: Éter dimetílico

Emisiones: sustancias contaminantes o cualquier otra cosa (incluyendo el ruido y las radiaciones) ocasionadas por un sistema que se convierte en fuente de emisión.

Emisiones por calentamiento: los gases de escape que produce un vehículo cuando su motor y su sistema de control de contaminación (ej. el catalizador) han alcanzado ya su temperatura de funcionamiento adecuada.

Emisiones de encendido: las emisiones extra que producen un vehículo cuando su motor y su sistema de control de emisiones aún no han alcanzado la temperatura adecuada (es decir cuando trabajan por debajo de su temperatura normal).

Emisiones (pérdidas) por evaporación: emisiones de hidrocarburos procedentes de los vehículos de motor y producidas por la evaporación de su combustible; las pérdidas por evaporación que se producen en el sistema de combustible del vehículo (depósito de combustible, carburador, o sistema de inyección o conductos del combustible), pueden incluir:

- pérdidas producidas durante el llenado del depósito,
- pérdidas diurnas,
- pérdidas por absorción de calor,
- pérdidas durante el funcionamiento del vehículo.

Emisiones del vehículo: cualquier tipo de sustancia contaminante (incluidos la contaminación acústica y la radiación) emitida por un vehículo.

Evaluación del impacto medioambiental: proceso por el que se determina el impacto medioambiental que origina una determinada actividad (ej. un proyecto para una nueva planta industrial, o un sistema de transporte), un nuevo avance tecnológico o una futura escenificación de cierto sistema de transporte, normalmente en comparación con algún caso que se toma como referencia (la situación existente en ese momento o una escenificación alternativa).

Factor de emisión: índice de emisión por unidad de actividad del ámbito del transporte($g/v \cdot km$)

GLP: Gas licuado del petróleo

GNC: Gas natural comprimido

Gráfico del motor: gráfico que describe mediante isocurvas el consumo de carburante o las emisiones producidas, dependiendo de la velocidad que alcance el motor y el par motor.

HCLM: Hidrocarburos libres de metano

HPA: Hidrocarburos policíclicos aromáticos.

Impacto medioambiental: cambios en el medio ambiente, o efectos medioambientales producidos por cualquier tipo de actividad humana (ej. el transporte).

Matriz de emisión: matriz dimensional de los factores de emisión, con dos variables operativas distintas que suelen ser la velocidad del vehículo y el producto de la velocidad y la aceleración (que actúa de indicativo eficaz de la demanda de potencia exigida al motor).

Modelo de emisión: modelo matemático, que normalmente se basa en estimaciones de carácter empírico, que describe y simula las emisiones producidas por el tráfico rodado y otros medios de transporte; los datos de entrada a partir de los que se elaboran estos modelos de emisión proceden, generalmente, de modelos de tráfico (micro o macro simuladores del tráfico)

NO_x: Óxidos de nitrógeno ocasionados principalmente por la combustión del carburante, y que contribuyen en la formación de la lluvia ácida; si se combinan con hidrocarburos, y con luz solar, forman ozono.

Partículas en suspensión (PS): Partículas suspendidas en el aire; las partículas de mayor tamaño restan visibilidad e incrementan la suciedad ambiental, mientras que las partículas de menor tamaño (PS₁₀), al ser lo suficientemente pequeñas como para ser inhaladas y llegar a los pulmones, pueden producir trastornos respiratorios crónicos serios y provocar, incluso, la muerte prematura.

Patrón de conducción: un “patrón de conducción” representa una determinada manera habitual de conducir que es posible describir con ayuda de parámetros cinemáticos (normalmente, el perfil de velocidad y el de aceleración)

PS₁₀: Partículas volátiles de diámetro inferior a 10 micras.

Situación del tráfico: El término “situación del tráfico” fue introducido por el “Handbuch der Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs” de origen suizo/alemán, como una segunda variable, además de la variable de la velocidad media, con el fin de tener en cuenta los efectos que una manera de conducir dinámica provoca en las emisiones producidas por el tráfico.

VBE: Vehículo de baja emisión

VCL: Vehículo de carga ligera

VCP: Vehículo de carga pesada

VMP: Vehículo que transporta mercancía pesada

VEC: Vehículos de emisión cero

6. Medio ambiente, energía y transporte – Los consorcios de los proyectos

MEET – Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport (in conjunction with COST Action 319)

Consortium:	
Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS)	FR
TRANSPORT RESEARCH LABORATORY (TRL)	UK
ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI (LAT-AUTH)	GR
Swedish National Road and Transport Research Institute	SE
TÜV RHEINLAND (TUV)	DE
Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO)	NL
TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK (DTU)	DK
TECHNICAL UNIVERSITY OF GRAZ (TUG)	AT
PSA Peugeot-Citroën	FR
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie	FR
BMW. AG	DE
INFRAS AG	CH
THE MOTOR INDUSTRY RESEARCH ASSOCIATION	UK
UNIVERSITY OF LIMERICK	IR
DR. MANFRED T. KALIVODA PSIA-CONSULT	AT
TECHNE S.R.L.	IT

COMMUTE – Common Methodology for Multi-Modal Transport Environmental

Consortium:	
TÜV RHEINLAND (TUV)	DE
UNIVERSITY OF LEEDS (ITS)	UK
Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS)	FR
TRANSPORT RESEARCH LABORATORY (TRL)	UK
UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON (ISVR)	UK
Centro Studi sui Sistemi di Trasporto SpA (CSST)	IT
TRANSPORT & TRAVEL RESEARCH LTD (TTR)	UK
Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENEA)	IT
MARITERM AB	SE
MENS EN RUIJTE N.V. (M+R)	BE
NEW UNIVERSITY OF LISBON (NUL)	PO
TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND (VTT)	FI
Gesellschaft für Organisation, Planung Und Ausbildung GmbH (GOPA)	DE

ARTEMIS - Assessment of Road Transport Emission Models and Inventory Systems

Consortium:	
TRANSPORT RESEARCH LABORATORY (TRL)	UK
TÜV RHEINLAND (TUV)	DE
INFRAS AG	CH
TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK (DTU)	DK
TECHNICAL UNIVERSITY OF GRAZ (TUG)	AT
Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS)	FR
TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND (VTT)	FI
AVL LIST GMBH	AT
LUNDS UNIVERSITET	SE
Regie Autonome des Transports Parisiens	FR
RWTÜV FAHRZEUG GMBH	DE
Bergische Universitaet - Gesamthochschule Wuppertal	DE
PPW "CZYSTE POWIETRZE"	PL
Université Des Sciences et Technologies de Lille (USTL)	FR

UNIVERSITE DE SAVOIE (US)	FR
EUROPEAN COMMISSION - JOINT RESEARCH CENTRE	IT
Fraunhofer-Gesellschaft Zur Förderung Der Angewandten Forschung E.V.	DE
FLYGTEKNISKA FORSOKSANSTALTEN	SE
BANESTYRELSEN DANISH NATIONAL RAILWAY AGENCY	DK
PAUL SCHERRER INSTITUT	CH
Közlekedestudományi Intézet Rt. (Institute for Transport Sciences) (KTI)	HUN
TRAFICO VERKEHRSPLANUNG	AT
Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO)	NL
TECHNION - ISRAEL INSTITUTE OF TECHNOLOGY	ISR
RENAULT RECHERCHE INNOVATION GIE	FR
DR. MANFRED T. KALIVODA PSIA-CONSULT	AT
ZURICH AIRPORT AUTHORITY	CH
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY	CH
Swiss Federal Laboratories for Material Testing and Research, EMPA	CH
SWEDISH ENVIRONMENTAL RESEARCH INSTITUTE LTD	SE
Consiglio Nazionale Delle Ricerche – Istituto dei Motori (CNR-IM)	IT
UNIVERSITÉ DU LITTORAL CÔTE D'OPALE (ULCO)	FR
FACHHOCHSCHULE BIEL	CH
Aristotle University of Thessaloniki – Laboratory of Applied Thermodynamics (LAT – AUTh)	GR
VLAAMSE INSTELLING VOOR TECHNOLOGISCH ONDERZOEK	BE