

La huella de carbono en las infraestructuras de transporte

LAURA CRESPO GARCÍA (*) y FERNANDO JIMÉNEZ ARROYO (**)

RESUMEN La cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a las infraestructuras de transporte ha sido abordada por diferentes medios. Las primeras herramientas para este cometido surgieron con la aplicación de las normas ISO 14040 de Análisis de Ciclo de Vida, que particularizadas a la valoración del recurso energía, permitieron acuñar un nuevo concepto, que muchos autores han dado en denominar “Huella de Carbono”. Existe una norma específica para esta cuantificación, la norma ISO 14064, que en el caso de las infraestructuras, evalúa las emisiones ligadas a todo el ciclo de vida y los efectos ambientales referidos a una unidad de servicio, contabilizando sus sucesivas etapas: fase de construcción, explotación, mantenimiento y desmantelamiento. La clave para realizar este análisis con precisión es seguir una metodología de cálculo de inventario de actividades, de modo que no se produzcan vacíos de información, ni tampoco solapamientos ni redundancias.

Las herramientas de cuantificación de emisiones son ya una realidad, pero se necesita de voluntad política y social, sustentada de fuertes razones económicas y del conjunto de la sociedad que reconozcan a la energía como un recurso de importancia vital, para que se desarrollen, perfeccionen, e implementen de forma sistemática como elemento decisivo clave en la elección de diferentes alternativas de transporte.

CARBON FOOTPRINT LINKED TO TRANSPORT INFRASTRUCTURES

ABSTRACT Quantification of emissions of greenhouse effect gases associated to transport infrastructures has been addressed in different ways. The first tools for this purpose appeared with the application of ISO 14040 standards (Life Cycle analysis) that, applied to the particular case of energetic resources, led to a new concept known as “carbon footprint”. There is a specific standard for this quantification (ISO 14064) according to which, for the case of infrastructures, emissions and environmental effects linked to the whole lifecycle are assessed taking into account all the stages: building, exploitation, maintenance and dismantling. The key point to perform this analysis is the accurate definition of a calculation methodology to be applied to the inventory of activities covered, in order to avoid information lacks, overlaps or redundancies.

Quantification tools for emissions are affectively a reality, but social and political will, supported by strong economical reasons recognizing energy as a vital resource, is necessary for these tools to be developed, enhanced and used in a systematic way as a key decision element to choice among different transport alternatives.

Palabras clave: Huella de carbono (HC), Análisis del Ciclo de Vida (ACV), ISO 14064, Bases de datos para la cuantificación de emisiones.

Keywords: Carbon footprint, Life Cycle Analysis (LCA), ISO 14064, Database for emissions account.

1. INTRODUCCIÓN

El sector del transporte en España es el primer consumidor de energía final en el balance global de todos los sectores, re-

presenta el 41% de esta energía. El consumo energético de este sector es muy superior al sector industrial (29%), residencial (17%), sector terciario (10%) y al sector agrícola cuyo papel es residual.

En cuanto a la desagregación del consumo de energía en el sector del transporte el mayor porcentaje lo acapara la carretera con el 80% del consumo, seguido por el modo aéreo que alcanza el 15%, el ferrocarril el 3%, similar a lo que representa el modo marítimo.

La radiografía del consumo de la energía del transporte es la fiel radiografía de la actividad económica de un país, marca con toda precisión el proceso económico seguido y vivido. En el caso de España, primero registra la expansión

(*) Ingeniero Agrónomo. Jefa de Área de Contaminación Atmosférica y Cambio Climático. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Alfonso XII, 3. 28014 Madrid. E-mail: laura.crespo@cedex.es

(**) Licenciado en Ciencias Ambientales. Contratado laboral temporal I+D. Área de Contaminación Atmosférica y Cambio Climático. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Alfonso XII, 3. 28014 Madrid. E-mail: fernando.jimenez@cedex.es

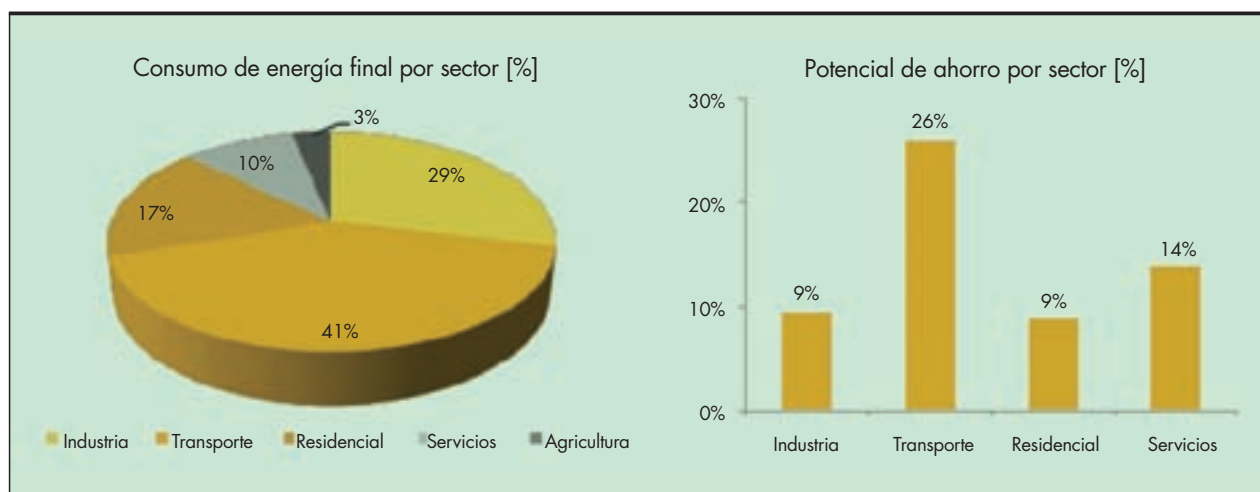


FIGURA 1. Consumo de energía 2009 y potencial de ahorro por sector 2010. (Fuente: IDAE y Gas Natural Fenosa).
Estudio sobre el Mercado de la Eficiencia Energética en España (Fuente: Asociación de Empresas de Eficiencia Energética e IDAE).

económica hasta el año 2007, y después el proceso de la recesión, donde el modo de transporte dominante y que más fielmente se ha ajustado a todos estos vaivenes socioeconómicos ha sido la carretera, como modo de transporte de mayor sencillez operativa, adaptado a las diferentes circunstancias y cuyos indicadores son un fiel reflejo de las fluctuaciones de la actividad económica. En el nuevo período de recesión, la movilidad de la carretera ha experimentado un fuerte cambio, marcada sobre todo por la movilidad a la baja de las mercancías, no tanto la de los viajeros, que sigue manteniéndose en similares circunstancias¹.

Se da el caso que existe una correlación perfecta entre las emisiones de GEI, con el consumo de energía debido al transporte, por tratarse de un sector muy dependiente de combustibles fósiles.

En el conjunto del periodo marcado como de referencia las emisiones debidas al transporte han supuesto un incremento del 70%, cuyo máximo se alcanzó en el año 2007, año de máxima expansión económica, con un incremento del 90% de éstas. Valorando cuánto representan las emisiones del transporte en el conjunto de los sectores económicos y cuál ha sido su evolución en todo el período considerado como de referencia, se observa cómo en el año 90 venían a suponer el 22,5% del total, aumentando de forma progresiva su participación llegando a suponer en el año 2010 casi el 29% del total de las emisiones de GEI, siendo la carretera el modo de mayor peso, con aproximadamente algo más del 92% de las mismas.

La preocupación por el papel del transporte como primer consumidor de energía y fuerte emisor de GEI no sólo se debe a una postura de sostenibilidad medioambiental debida a que la energía de origen fósil es la causante del mayor problema ambiental que sufre el planeta. Además, debe tenerse muy presente que los combustibles fósiles serán cada vez más escasos y que es necesario buscar fuentes alternativas de energía: es evidente que para el transporte supone una cuestión de supervivencia.

2. ANÁLISIS SECTORIAL DEL MERCADO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Al igual que se presenta al transporte como un sector clave en el consumo de energía, también es el sector que mantiene el mayor potencial de ahorro. El transporte seguido por el sector de servicios son los sectores con mayores posibilidades para optimizar su consumo. El “Informe Anual de Consumos Energéticos” del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) del Año 2009, recoge el consumo de energía final en España de 91.290 Ktep, consumo que bajó un 7,4% respecto al año 2008. Esta bajada la experimentaron tanto el transporte como la industria, por tratarse de sectores afectados por la crisis económica de fuerte interrelación y muy dependientes. Esta fuerte conexión es lo que ha permitido a muchos autores relacionar el desarrollo económico de los diferentes territorios con sus posibilidades de acceso a las vías de comunicación, cuando las verdaderas ganancias en accesibilidad se deben no tanto al aumento de infraestructuras de comunicación de primer orden, sino más bien a las menores distancias geográficas a los nodos y centros neurálgicos de concentración de población y de actividad económica, siempre que éstas no representen un factor limitante. Poner en práctica todo este conocimiento colectivo es lo que ayuda a entender que el sector del transporte es el que mantiene mayor proporción de ahorro, seguido por el sector de servicios, siempre que se imponga criterios de inteligencia tanto en el diseño del sistema de transporte, como en su organización. Las posibilidades de ahorro de este sector frente a otros se detalla en la Figura 1.

Aunque la tendencia española es a la mejora de la eficiencia energética, y a un ritmo mayor que los países de nuestro entorno, a los que tiende a converger, dista de alcanzar los ratios de eficiencia de estos otros países.

En el “Estudio sobre el Mercado de la Eficiencia Energética en España” de la Asociación de Empresas de Eficiencia Energética (A3e) y del IDAE se expone que en el informe “Energy Technology Perspectives 2010”, elaborado por la Agencia internacional de la Energía (AIE), puede comprobarse la contribución a reducir emisiones de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Los posibles potenciales de reducción de emisiones están ligadas a las actuaciones en varios sectores, las más decisivas son las orien-

¹ Este hecho se refleja en los datos de toneladas-km transportadas en pauta interurbana recogidos en el informe anual 2010 de “Los transportes y las infraestructuras” del Ministerio de Fomento. Se ha producido un descenso en este indicador del 25% entre los años 2007 y 2010.

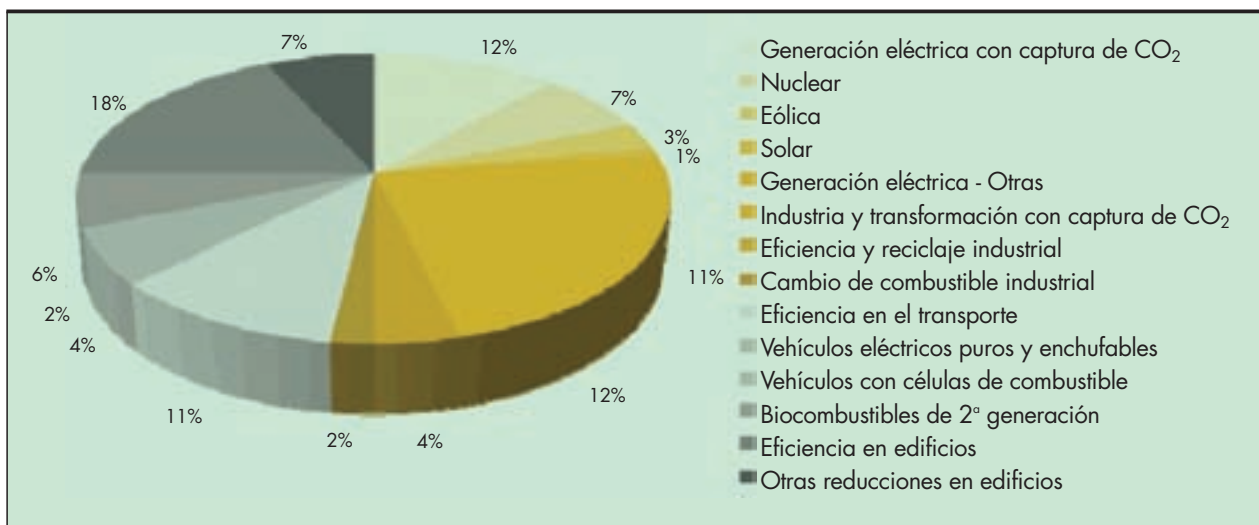


FIGURA 2. Contribuciones al ahorro energético por actuación. Fuente: IEA (ETP 2010). Estudio sobre el Mercado de la Eficiencia Energética en España (Fuente: Asociación de Empresas de Eficiencia Energética e IDAE).

tadas a la mejora de la eficiencia en el transporte, cuyas posibilidades se fijan con un potencial de ahorro del 11% en relación al conjunto de los sectores, y a la mejora de la eficiencia de los edificios con un 18% de posibilidades de poder de contribución al ahorro. En este artículo se intenta esbozar la aportación que las herramientas de medida de las emisiones realizan como contribución al ahorro de emisiones en el transporte, conscientes de que los potenciales de ahorro de este sector no sólo vendrán de una única iniciativa, sino de toda una batería de actuaciones desde diferentes ámbitos, puesto que una economía sin combustibles fósiles será mucho más compleja de organizar para cubrir las necesidades actuales.

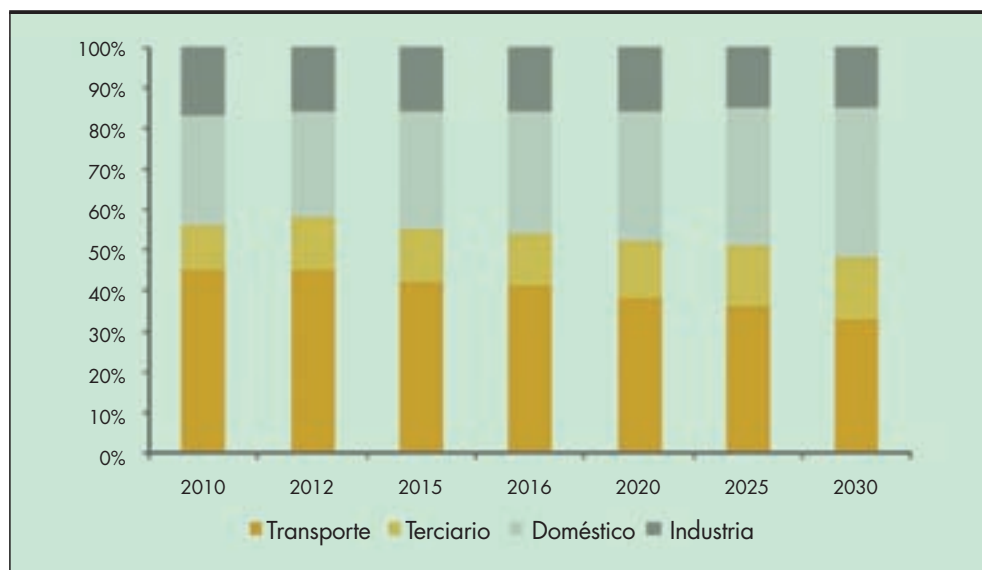
En este mismo estudio de Ae3 y el IDAE se cita otro documento relevante en la cuantificación del potencial de ahorro por sectores en países de la UE, candidatos y países pertenecientes al Área Económica Europea (EEA), es el informe

“Study on the Energy Savings Potentials in EU Member States, Candidate Countries and EEA Countries”, (Revisión 2009, elaborado por la Comisión Europea). El estudio se basa en la simulación de diferentes escenarios utilizando datos de tendencias de consumo extraídos del estudio “European Energy and Transport Trends to 2030”, e intenta profundizar en el potencial de eficiencia energética de diferentes usos finales de la energía.

Entre las conclusiones que se extraen del informe se puede remarcar:

En el corto plazo, el transporte y otros sectores difusos (como el residencial), cuentan con un destacable potencial de ahorro. Esto obliga a la administración y agentes económicos a plantear acciones orientadas a favorecer el cambio modal hacia los modos de transporte más eficientes y que mejor se ajustan a cubrir las necesidades de los ciudadanos y a la me-

FIGURA 3. Potenciales de ahorro sectoriales (2010-2030). Fuente: Comisión Europea. Estudio sobre el Mercado de la Eficiencia Energética en España (Fuente: Asociación de Empresas de Eficiencia Energética e IDAE).



jora en la envolvente edificatoria y de los aparatos eléctricos tanto del sector residencial y terciario, donde todavía queda un importante camino por recorrer y donde se espera que la contribución al ahorro energético crezca tanto en el medio como en el largo plazo.

El sector del transporte cuenta con el Plan de Ahorro y Eficiencia Energética (PAEE), aprobado para el horizonte temporal 2020, que en sus diferentes programas recoge diferentes líneas de trabajo continuistas con la etapa anterior: que incluye el cambio modal hacia medios más eficientes, mejora en eficiencia de vehículos y uso más eficiente de los medios de transporte. Líneas de trabajo que aunque aprobadas y mandadas a la Comisión no cuentan con financiación para su puesta en marcha.

En cuanto al sector residencial todas estas medidas que procuran el ahorro y la eficiencia energética además de estar contenidas en el PAEE 2011-2020, están financiadas con líneas de trabajo promovidas entre el IDAE y los fondos FEDER comunitarios, que financia acciones como la del Gestor de Servicios Energéticos con orientación al sector de servicios, residencial y de edificios de la Administración pública.

3. HERRAMIENTAS PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO

A nivel Nacional para poder medir estos diferentes comportamientos de mejora existen herramientas que permiten demostrar ante distintos organismos internacionales (UE, ONU) cuál es la aportación de cada sector a la contribución de la generación de emisiones, demostrando el grado de cumplimiento de los compromisos europeos, lo que permite corregir tendencias de los diferentes sectores y contribuir de hecho en las tareas de planificación. Para abordar este cometido la UE ha contado con las metodologías EMEP/EEA (antes referenciadas como EMEP/CORINEAIR), para la elaboración del Inventario de Emisiones a la Atmósfera, al que en ocasiones se le acompaña de ejercicios de prospectiva, para interpretar la realidad en un horizonte temporal, presumiendo unas variables económicas de partida que ayudan a la estimación de estas emisiones en el plazo fijado, más o menos cercano. Estos ejercicios son realizados año a año por el Estado Español y los revierte a las diferentes instituciones para cuantificar la aportación de las diferentes actividades productivas de GEI y gases contaminantes, entre las que el transporte ocupa el primer lugar.

De esta manera el Inventario de Emisiones a la Atmósfera recoge y cuantifica las emisiones de las diferentes actividades dominantes en la economía, en total 11 sectores productivos, y donde el grupo 7 o SNAP 7 detalla el transporte por carretera y el grupo 8 o SNAP 8 describe otros modos de transporte y maquinaria móvil. En el SNAP 1 que cuantifica las emisiones de la generación eléctrica, se recoge todas las emisiones derivadas del ferrocarril por tracción eléctrica, que en la actualidad podría llegar a suponer $\frac{3}{4}$ partes de las emisiones procedentes de este modo. En este epígrafe también se incluirán las emisiones de la movilidad eléctrica, lo que llevará a un ejercicio de reflexión porque el SNAP 7 ya no recogerá como hasta ahora todas las emisiones procedentes de la carretera.

En este tipo de inventario y para el caso que nos ocupa, las emisiones de la carretera y de otros modos de transporte sólo cuantifican las emisiones ligadas a la explotación de la carretera, al igual que ocurre en las producidas por otros modos de transporte. Para seguir avanzando en la cuestión, y poder analizar las emisiones ligadas a la obtención de un servicio o producto se hace imprescindible dotarse de otro tipo de herramientas que permitan la cuantificación de las emisiones de GEI, en todas y cada una de las fases de las que consta un

proyecto o conjuntos de proyectos (planes y programas). Este análisis de impacto se conoce como “Análisis de Ciclo de Vida (ACV)”, y para el caso concreto de las emisiones de GEI, “Huella de Carbono (HC)”, y viene siendo objeto de normalización e implementación internacional por las Normas ISO-14040 y otras derivadas. Estas normas aparecen desde finales de la década de 1990 y tratan de evaluar todo el ciclo de vida y los efectos ambientales que genera un determinado producto o servicio en sus sucesivas etapas: producción, utilización y eliminación, que en el caso de las infraestructuras de transporte se traduce por las fases de construcción, explotación, mantenimiento y desmantelamiento. En cada etapa se consideran no sólo los efectos directos, sino también los indirectos, esto es, los que se generan en la obtención de materias primas, productos semielaborados, servicios auxiliares y en general cualquier actividad vinculada al ciclo de vida del producto, que siguiendo con el ejemplo de las infraestructuras se traduce en las emisiones generadas en el transporte de personas (viajero-km) y mercancías (tonelada-km).

Entre las metodologías más relevantes para el cálculo de la huella de carbono de una organización y producto relacionada con el transporte están:

- ISO 14064
- GhG Protocol
- MC3

Todas ellas pretenden sistematizar las tareas para el cálculo de la huella de carbono de una organización o producto. Las características y el valor añadido de éstas puede resumirse en:

ISO 14064, para el cálculo de la HC existen diversas normas o guías internacionales y todas recogidas en este grupo². Todas ellas tienen como objetivo asegurar la información para establecer una serie de requisitos que permitan ir recorriendo todas las fases de la elaboración de un producto o unidad de servicio, de forma más o menos sistemática para no producir solapamientos, y evitando vacíos de actividades en la contabilidad. Esta en concreto está orientada al cálculo de emisiones de la organización.

GhG Protocol, de todas éstas es la herramienta más intuitiva, para el cálculo de emisiones define 3 alcances o niveles. Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3. El alcance 1 permite cuantificar las emisiones directas generadas por la organización; el alcance 2, son las emisiones generadas de forma indirecta por la organización, como pudieran ser las emisiones derivadas de la compra de energía eléctrica, y el alcance 3, son las emisiones indirectas derivadas de la cadena de suministro de terceros o de servicios auxiliares para la obtención del servicio.

La metodología MC3 ha sido desarrollada en los últimos años, presenta un enfoque basado en la organización y sigue un procedimiento “bottom-up” para los productos de entrada y “top-down” para los de salida de la organización, permitiendo al tiempo calcular la huella de la organización y la del producto.

La metodología debe procurar en todo momento sistematizar el proceso recorrido para cubrir de una forma fiel todas las fases de la construcción de una infraestructura de transporte. Ésta utiliza las cuentas de su propio sistema contable para ir recorriendo una a una las diferentes actividades susceptibles de generar emisiones. Además, calcula las emisiones

² Las normas ISO en relación al concepto de ACV comienzan a aparecer a partir de finales de los 90, con la ISO-14040 derivando en normas relacionadas con las emisiones de GEI como la ISO14064 y las normas previstas 14069 y 14067.

Fase infraestructura	Fase tráfico			
Construcción	Construcción	Mantenimiento	Operación	Desmantelamiento
Mantenimiento				
Operación				
Desmantelamiento				

FIGURA 4. Fases a recorrer y describir en el ACV de una infraestructura.
Fuente: Elaboración propia. Basado en el estudio de referencia *Life cycle assessment of railways and rail transports - Application in environmental product declarations (EPDs) for the Bothnia Line*. September 2010. Swedish Environmental Research Institut (IVL).

directas e indirectas de la organización, aproximándose al cálculo de la huella hídrica y ecológica de la organización con su correspondiente traducción a emisiones.

Dentro de este campo de investigación y como desarrollo del trabajo “Directrices a considerar en la elaboración del Informe de Sostenibilidad Ambiental para la aplicación de la normativa de Planes y Programas en infraestructuras de transporte, bajo la consideración del Cambio Climático” dentro de una encomienda de gestión suscrita entre el Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), el Área Cambio Climático y Contaminación Atmosférica del Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (CETA) del CEDEX ha diseñado el esquema que se describe en la Tabla 1, que permite cuantificar buena parte de las emisiones ligadas al ACV de las infraestructuras de transporte.

El esquema recorre dos fases bien diferenciadas:

- Fase de construcción de la infraestructura.
- Fase de tráfico, que otras publicaciones pasan a llamar de explotación u operación.

Para intentar reproducir este esquema con el ejemplo de la carretera, la fase de infraestructura incluye además diferentes subfases o etapas a identificar de forma ordenada y sistemática para cuantificar sus emisiones, llevando asociadas un consumo energético bien diferenciado y por tanto de emisiones.

Se podría pensar que la fase de infraestructura contaría con una subfase de construcción propiamente dicha, que incluiría diferentes etapas: movimiento de tierras, explanación (desmante y relleno del terreno), secciones tipo y firmes, drenajes, estructuras...

La subfase de mantenimiento de la carretera está ligada al mantenimiento de la obra civil; incluiría actividades tales como: la reparación de la calzada, señalización, instalación de quitamiedos, ubicación de paneles de informativos.

La subfase de operación incluiría actividades ligadas con el mantenimiento para el uso de las infraestructuras, ligado al consumo energético de las farolas, los paneles de información y otras instalaciones que dan servicio en la carretera.

En la otra fase, la de tráfico, también conocida como explotación u operación, incluiría las subfases de la fabricación de los vehículos en la factoría, su mantenimiento en talleres, con arreglo y sustitución de piezas, y la subfase de operación relacionada con la movilidad de los vehículos, que incluiría también lubricantes.

La bondad de este tipo de inventarios consiste en seguir de forma escrupulosa y exhaustiva un procedimiento de manera que no se produzcan dobles contabilidades en la cuantifica-

ción de emisiones, pero tampoco vacíos de información obviando ciertas etapas. Por ello la metodología MC3 utiliza como base de cálculo las cuentas contables de la organización.

No existe una cultura de poner en valor el coste de la energía por venir de un periodo donde los combustibles han sido baratos en relación a otras variables o inputs del transporte. En la etapa vivida se ha primado la entrega y llegada en tiempo de los productos y personas, descuidando la optimización de la carga en caso de los vehículos pesados de transporte de mercancías y la ocupación de los vehículos en el caso del viaje de las personas. Ha de venir una nueva etapa más acorde con “la racionalidad en el consumo”, impuesta por la escasez de combustibles, que impondrá por la necesidad, que no por la cordura, un cambio cultural obligado por mercados energéticos cada día más deficitarios y en consecuencia más caros, que obligará a perfeccionar este tipo de herramientas.

La dispersión de herramientas para poder medir los comportamientos humanos ligados a una actividad, y poder elegir así entre diferentes opciones de trabajo, es todavía un hecho cierto, por lo que se impone la obligación de seguir avanzando para sistematizar procesos que sin duda convertirán este análisis en una pieza decisiva en la elección de los proyectos del transporte que persigan la optimización del consumo de la energía a la hora de prestar un servicio.

Son muchos y diferentes los trabajos que se han planteado para acometer la definición y elaboración de “una estructura de base de datos”, que permita seguir de forma detallada las diferentes fases de un proyecto, y cuantificar de manera organizada el cálculo de las emisiones de GEI.

La estructura planteada por el proyecto ENERTRANS, en la que participó el CEDEX y la Fundación Ferrocarriles Españoles (FFE), coincide con las planteadas por diferentes organizaciones creadas a nivel internacional con este mismo fin. Entre otras bases de datos están BEDEC, ECOINVENT, con el mismo objetivo.

De manera general, en las bases de datos referidas a la fase de infraestructura, se pueden identificar dos fases bien diferenciadas para determinar el consumo de energía, y su correspondiente reflejo en las emisiones:

- Consumos energéticos propios de la fabricación de materiales para la ejecución de la obra (cemento, hormigón, viguetas, pilares....).
- Consumos energéticos propios de la ejecución de la obra misma, consumos energéticos relacionados con el transporte de materiales, movimientos de tierras...

Las emisiones de la obra y proyectos serían las emisiones del tipo II, mientras que las ligadas a las actividades productivas de construcción de los materiales estarían en las del tipo I.

La metodología definida por ENERTRANS, abunda por un lado en la descripción de materiales necesarios para la ejecución de la obra en esa fase (tipo I) y ligado a las emisiones del tipo II, donde estarían las emisiones de la maquinaria utilizadas en las diferentes fases del proyecto.

Para poner en marcha este proceso se cuantificarán los consumos tanto de tipo I, como de tipo II, por cada km de carretera o de infraestructura a construir o unidad de servicio a entregar (se ha de referir a una unidad tipo representativa). Para este análisis sería necesario recoger diferentes casos de estudio, diferenciados por características geográficas (geología, fisiografía del terreno, tipo de suelo,...), y para diferentes épocas del año en la realización de las operaciones (con influencia en el estado del suelo.....). El resultado final de la base de datos puede ser un dato representativo de valores medios de emisiones y consumos energéticos, o valores ponderados en función de las unidades a construir de cada

Organización/ Empresa	País	Base de datos	Idioma de BBDD	Programas	Idioma del servicio de BBDD	Observaciones
CODDE	Francia	EIME V9.0	Español	EIME V3.0	Español	Licencia Anual
Ecobilan – PwC	Francia	DEAM (DEAM impact)	Inglés	TEAM 4.5	Español	Licencia Anual
Escola Superior de Comerç Internacional	España (Barcelona)	GaBi databases 2006	Inglés	GaBi	Español	No desarrolla sólo vende
ifu Hamburg GmbH	Alemania	Umberto library 5.5	Inglés	Umberto 5.5	Español	Varias opciones (Demo, Universidades, Empresas, etc)
LBP, University of Stuttgart (former IKP)	Alemania	GaBi databases 2006	Inglés	GaBi	Español	Desarrolla pero no vende
Oeko-Institut (Institute for applied Ecology), Darmstadt Office	Alemania	GEMIS	Español	GEMIS version	Español	Gratis
PE International GmbH	Alemania	GaBi	Inglés	GaBi	Inglés	Vende varias bases de datos
PRé Consultants B.V.	Holanda	SimaPro	Inglés	SimaPro	Inglés	Vende varias bases de datos
ReMa - MEDIO AMBIENTE, S.L.	España (Castellón)	–	–	LCA Manager	–	Sólo Vende
SIMPPLE	España (Tarragona)	–	–	LCA Manager	–	–
Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)	España (Barcelona)	LCA_sostenipra_v.1.0	Español	–	–	Forma Parte del proyecto ECOTECH-SODOE

TABLA 1. Bases de Datos y Herramientas del Directorio de Recursos Internacional de ACV. Herramientas de la Plataforma europea de Análisis de Ciclo de Vida.
Fuente: Elaboración propia.

tipo, o una horquilla de datos. Estas bases de datos deben diferenciar las diferentes unidades de obra por tipos de materiales utilizados y por tiempo de utilización de maquinaria según tipología. Un ejemplo sería el movimiento de tierras: desbroce, excavación y terraplén.

En cada una de estas etapas se diferenciarán y computarán los dos tipos de consumos ya enunciados, que para el caso concreto que nos atañe serán dominantes los consumos del tipo II, consumo energético de la maquinaria muy ligado al tipo de terreno y de la estación del año en la que se realizan las obras. En el caso planteado del transporte, muy dependiente de combustibles fósiles, las emisiones de GEI dependerán sobre todo de las características fisiográficas del terreno y del estado del suelo y no tanto de las características del mix energético propio del país.

Aunque por diferentes organizaciones y proyectos se ha planteado este trabajo, queda aún por imponer esta cuestión de manera generalizada a través de una Entidad con peso en el mundo de la ingeniería.

En este sentido es importante destacar como referencia la existencia de una “Plataforma Europea de Análisis de Ciclo de Vida”, cuyo objetivo es apoyar a empresas y autoridades públicas en la implantación de la producción y el consumo sostenible. Proporciona orientación sobre datos consistentes y

de calidad, que garanticen un análisis de ciclo de vida, métodos y evaluaciones.

Existe una herramienta desarrollada dentro de la Plataforma Europea de Análisis de Ciclo de Vida denominada Directorio de Recursos Internacionales de ACV, que contiene información sobre bases de datos relacionadas con el concepto de ciclo de vida, tal y como queda recogido en la Tabla 2.

En ella pueden verse referenciadas todas las bases de datos, recogidas del Directorio, de interés en nuestro país, aunque existen otras muchas bases de datos que pueden ser consultadas en la página web.

Existen además, otras bases de datos de interés, que resultan de utilidad y que no aparecen en el cuadro. La Base de datos del Banco Estructurado de Datos de Elementos Constructivos (BEDEC), del Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITEC), presenta el atractivo de ser una base de datos española. Existe otra herramienta, ECOINVENT, con datos del Inventario de Ciclo de Vida (ICV), compatibles con herramientas de ACV y de ecodiseño. Esta base de datos es muy útil por tratarse de una base muy referenciada en la bibliografía, y que se usa el ámbito internacional, referenciada en la tabla anterior.

En el proyecto ECOTECH-SODOE (INTERREG IV) se tomó la decisión de iniciar una base de datos española de

forma piloto en el último trimestre de 2011, algo enunciado de manera muy general y que se reclama desde diferentes proyectos de investigación como el proyecto CLEAM (Construcción, limpia y Amigable con el Medio Ambiente). Esto da idea del interés que suscita el tema desde el ámbito empresarial y de investigación, aunque necesitaría refrendarse con apoyos más institucionales y políticos.

Ahora mismo es imprescindible en todos los proyectos de ingeniería, de obras o de infraestructura, conocer los precios de las diferentes unidades de obra desglosados y calculados mediante programas informáticos diseñados "ad hoc", como "GUADAL" (base de datos del colegio de Arquitectos Técnicos de Guadalajara), que está explotada con el programa "PRESTO". Esta herramienta de forma generalizada sirve para elaborar los presupuestos de obra de los proyectos de arquitectura. Para llegar a este estado, ha existido un trabajo previo de diseño de esta base de datos, de mantenimiento y de actualización, realizado por diferentes organizaciones profesionales de arquitectura, ingeniería e informática, que en sus respectivos ámbitos han trabajado para valorar de forma rápida los costes de un proyecto, respondiendo a lo que hasta ahora ha primado, el coste en términos monetarios de las cosas.

De forma análoga a como se ha procedido para estandarizar y conocer el coste en términos económicos de los proyectos, se ha conocido el coste energético y de emisiones de los mismos. Para ello, como se ha señalado, este interés se ha de trasladar a una organización que tenga liderazgo (colegios de ingeniería), donde se vaya implantando como algo habitual, actualizando y perfeccionando la información recabada, validándola, contrastándola durante el tiempo en diferentes actuaciones, e incorporándola a diferentes entornos y condiciones ambientales, que dependerán del período del año en el que se realizan los trabajos. El trabajo comenzaría con un análisis previo del inventario de actividades debidamente referenciadas y que cuantificadas de forma sistemática permitirían ir valorando los consumos energéticos, y su correspondencia en emisiones. Todo ello referido a diferentes unidades de obra, integradas en diferentes tipologías de proyecto, y para las diferentes fases, fase de construcción, mantenimiento posterior... Y una vez que los proyectos hayan sido ejecutados y conocidos los consumos reales de energía, como una parte más de la metodología de implementación se deberían poner en marcha auditorías energéticas, lo que permitiría comprobar el grado de aproximación entre el coste energético inicialmente planteado y supuesto en el proyecto inicial y el consumo verdaderamente producido. Estos procesos de retroalimentación permitirán perfeccionar la base de datos a plantear, mejorando así la información real de los mismos una vez ejecutados.

Esta amplia reflexión permite llegar a la conclusión de que el uso de bases de datos que recojan consumos energéticos y de emisiones de las diferentes unidades de obra de las que consta un proyecto no están debidamente "diseñadas, alimentadas, mantenidas..." como para poder ser aplicadas. En verdad lo que dificulta este proceso es la ausencia de voluntad para incorporarlas como requisito necesario como si se tratara de una parte adicional más de un proyecto, incluyéndose como un capítulo más dentro del mismo. Se podría pensar que esta empresa fuera asumida por organizaciones del mundo de la ingeniería con la autoridad que se les supone para depositar este mandato, aunando voluntades, capacidad de mando y de organización para llevar a término este objetivo.

En el CEDEX, y dentro de una encomienda que tiene suscrita con el MAGRAMA, se han realizado una jornadas de huella de carbono en el ámbito del transporte, y dado que

entre los participantes a las jornadas, se encuentran representados diferentes organizaciones sectoriales de la construcción, parece que el marco fuera el idóneo para trasladar este tipo de necesidad: posibilidad de diseñar el ACV y HC en los proyectos de construcción y aproximarnos en los cálculos a proyectar en la definición de Planes y Programas, cuestión que será de suma importancia en un futuro muy próximo, caracterizado por el progresivo encarecimiento del precio del combustible.

Cuando se analiza y valora el ciclo de vida de una infraestructura (ACV), resulta interesante reflexionar sobre lo que supone una etapa o subetapas en relación a otra, en cuanto a la variable energética. Este análisis de conjunto puede justificar la realización de costosas inversiones de ingeniería: puentes y túneles, que simplifican la fase de tráfico de la infraestructura en cuestión (carretera). Para analizar este comportamiento en cada alternativa se ha de estudiar en las diferentes etapas "el balance de consumo energético y de emisiones", valorando dos aspectos, por un lado la fase de infraestructura frente al consumo energético de la fase de tráfico de la infraestructura que da soporte al servicio ofrecido. En este balance global de emisiones se analizará todo el ciclo y el efecto derivado de introducir la mejora de trazados mediante elementos constructivos: puentes, túneles, trazados, pendientes, elementos que simplifican la movilidad y por tanto la gestión de la misma. Una vez que la cultura del consumo de energía y su relación con las emisiones esté interiorizada, se creará una base de datos que permita acotar los consumos energéticos de las diferentes unidades de obra que integren los proyectos, condicionadas por las características topográficas de terreno, tipo de suelo, condiciones de humedad, período del año en el que se realizan los trabajos y las propias exigencias constructivas que impone la construcción de la infraestructura y propia de cada país. Al depender los consumos de energía no sólo de la orografía y características de cada espacio territorial, también se verán muy influenciadas por las características del mix energético del país en cuestión (cuando la movilidad eléctrica tenga mayor peso).

Este ejercicio se ha realizado por diferentes grupos de investigación: cuantificando el consumo de emisiones-energía de diferentes fases del ciclo de vida de un proyecto para diferentes modalidades de transporte. El grupo constituido para el proyecto ENERTRANS cuantificó y relacionó las emisiones en la fase de fabricación de los vehículos con la fase de movilidad (Figura 4).

Los resultados que allí se presentaron, planteaban que para los turismos la energía consumida por los vehículos era porcentualmente la cuarta parte consumida en la fase de tráfico, esta relación se va diferenciando para otras modalidades de vehículos, los todo-terrenos y las furgonetas donde el consumo de energía para su movilidad es mayor y por tanto la relación de consumos energéticos resulta ser más diferentes. El caso extremo es el del avión que consume mucha energía en su fase de operación en relación a la fase de fabricación, por dos razones, por los elevados consumos en la fase de operación y porque la vida útil de los aviones es muy elevada. El concepto de vida útil es de interés en este análisis, puesto que de no agotarse la vida útil del material móvil podría aumentar la relación entre la energía consumida en la fase de construcción del material móvil y la de operación. Existen diferentes estudios que avalan la importancia de agotar la vida útil de los vehículos para disminuir los consumos referidos al ACV en las diferentes modalidades de transporte. Si la fase de construcción del material móvil consume mucha energía, para minimizar el consumo en el balance global del ACV de la energía se ha de procurar agotar el tiempo programado por el

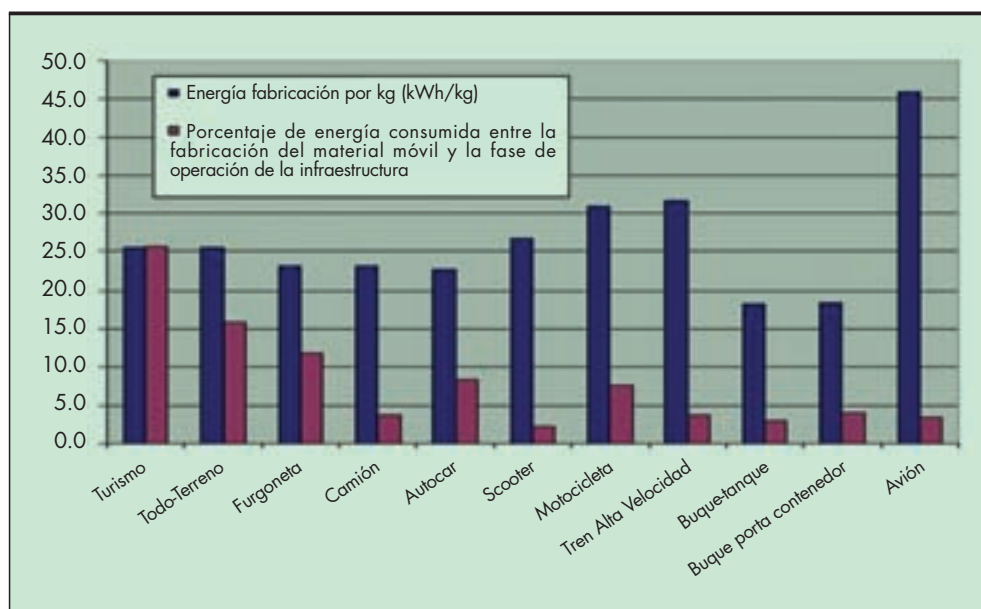


FIGURA 5. Energía para materiales y fabricación y comparación con el uso. Fuente: Informe científico-técnico final. Proyecto ENERTRANS.

fabricante para obtener un consumo eficiente del mismo. Esta reflexión hace una llamada para reformular y diseñar las políticas públicas orientadas a activar la renovación del parque de vehículos cuyo único objetivo sea el de dinamizar el mercado de compras del automóvil. Así, estas políticas se han de diseñar para no financiar una retirada de los vehículos antes de agotar la vida útil programada por el fabricante, de lo contrario se incurriría en consumos energéticos desmesurados en el balance global del ACV.

En trabajos en los que se compara las diferentes fases de un proyecto de transporte se puede extraer la conclusión de que la fase de tráfico es la que concentra el mayor porcentaje reconsumos energéticos y emisiones de GEI, comparada con la construcción y con el mantenimiento (Ver Figuras 5 y 6). Cuando se analizan los datos provenientes de diferentes estudios no se podría asegurar que se están comparando cosas semejantes en estos proyectos. Para realizar este tipo de ejercicios con una base metodológica consistente, deben estar

perfectamente inventariadas todas las subfases, identificadas con precisión para poder compararlas y evitar así la existencia de duplicidades.

En la normativa ambiental hoy existen herramientas preventivas que permiten, por su carácter estratégico en el análisis de los proyectos, planes o programas, valorar las diferentes opciones en la fase de planificación. El impacto de un proyecto o conjunto de proyectos se va a dilatar a lo largo de su vida útil, y dependiendo del tipo de proyectos puede ser de 20 ó 30 años, por ello uno de los retos a los que se enfrenta este tipo de herramientas es estimar las emisiones en ese periodo futuro, con toda la incertidumbre que conlleva la implantación de diferentes tecnologías que se sucederán en movilidad como consecuencia de la aparición del vehículo eléctrico e híbrido, en todas sus modalidades (movilidad eléctrica). Estas herramientas y utilidades englobadas en la HC y ACV estiman las emisiones tanto en la fase de infraestructura como en la de tráfico.

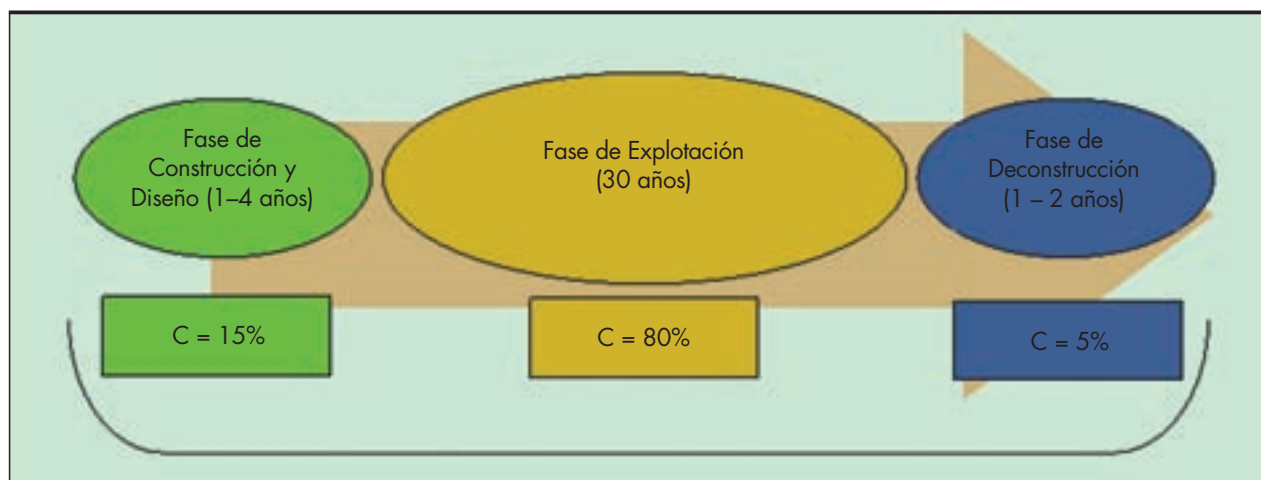
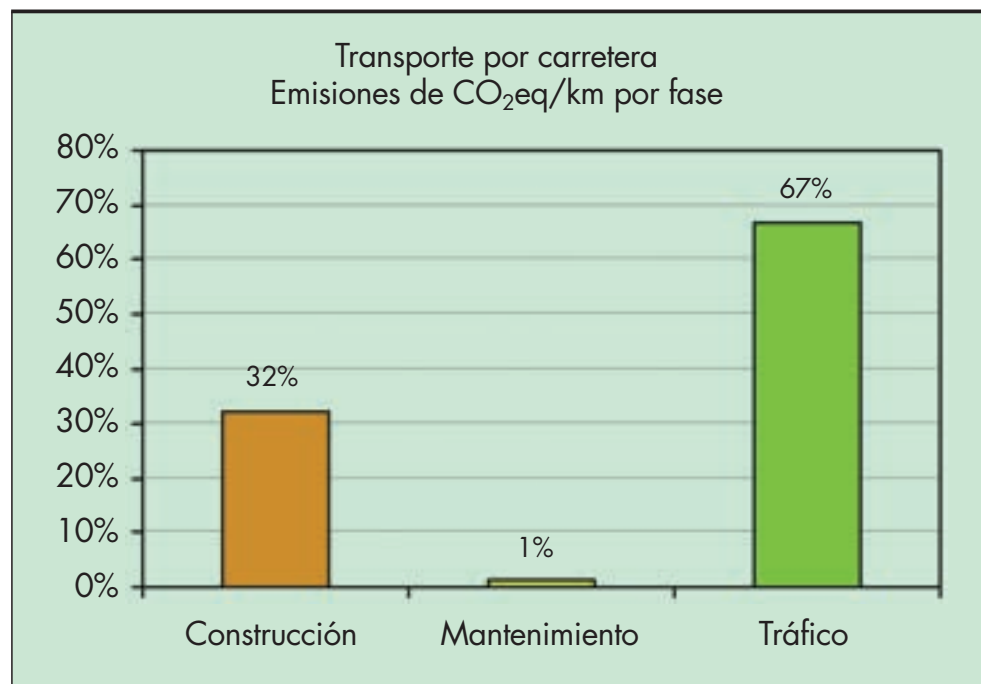


FIGURA 6. Distribución de consumos en el ciclo de vida de una autopista. Fuente: Tarea 6. Optimización de los recursos energéticos. Centro de Investigación de Transporte (TRANSyT). Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Proyecto Operación de Autopistas Seguras, Inteligentes y Sostenibles (OASIS).

FIGURA 7. Emisiones por fases en el transporte por carretera.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Tarea 4.4.
Herramienta de cálculo y análisis de las emisiones de CO₂ producidas por una infraestructura durante su fase de construcción y de explotación. Universidad Complutense de Madrid (UCM). Proyecto CLEAM.



Todas estas metodologías para el cálculo de la huella de carbono, o del ACV, de una infraestructura de transporte requieren de diferentes herramientas según la subfase de cada fase de cuantificación de emisiones en las que se pretende realizar el estudio.

La fase de infraestructura, aunque con diferentes intentos de normalizar la sistemática de su creación para cuantificar las emisiones, dista mucho de estar incorporada a las fases de elaboración de un proyecto.

Para valorar las emisiones de una infraestructura en la fase de tráfico al cálculo de las emisiones de un año se ha de incorporar el concepto de prospectiva, o valoración de las emisiones a lo largo de su vida útil, y lo adecuado sería contar con este tipo de herramientas para los diferentes modos de transporte, ejercicio que ha sido perseguido por diferentes entidades públicas e instituciones con competencias en promover políticas de transporte sostenible. Las herramientas utilizadas para esta fase en general, pueden ser de dos tipos, las que cuantifiquen las emisiones en la fase de tráfico por modos de transporte (COPERT ó MECETA) y otros que permiten comparar las emisiones entre diferentes modos de transporte (TREMOVE, ECOTRANSIT Ó ECOPASSENGER), éstas se pueden utilizar para estimar las emisiones en la fase de tráfico, concretamente en lo que respecta a la operación, o movilidad de los vehículos. No todas, pero algunas, son herramientas de prospectiva con alguna limitación, como mucho calculan las emisiones hasta el año 2020, porque estos programas dan por descontado que existirá una ruptura tecnológica en esa fecha marcada por la movilidad eléctrica.

En la Tabla 3, se detallan las herramientas utilizadas para calcular las emisiones en la fase de tráfico u otras fases de los diferentes modos de transporte, detallando si cuentan con un análisis de prospectiva de emisiones y discriminando su diferenciación de emisiones por viajeros y mercancías. Detallando la fase o subfase que aborda el programa en cuestión para el cálculo de las emisiones dentro del ciclo total del ACV, también queda descrito el objeto del programa y la organización o centro de investigación que ha participado en su desarrollo.

En este cuadro de detalle de herramientas, unas vienen referidas a la cuantificación de las emisiones por modos de transporte y otras permiten la comparación entre modos. En la planificación estratégica de Planes y Programas sería de interés contar con este último tipo de herramientas trabajadas, y explotadas a escala nacional. El proyecto ENERTRANS financiado y dirigido por el CEDEX con la participación de la Fundación Ferrocarriles Españoles y la Universidad Pontificia de Comillas, no llegó a resultados que pudieran ser plasmados en una herramienta informática.

Las herramientas para el cálculo de emisiones de un plan o programa, o de un proyecto de transporte se convierten con lo ya descrito en instrumentos de cálculo con ciertas limitaciones, marcadas por la falta de conocimiento de detalle y de alcance último de los proyectos. Sin embargo la mejora del conocimiento debe ir acortando límites, hasta poder dimensionar el efecto de cierto tipo de políticas en reducir emisiones y evitar el consumo de energía en el sector transporte. Las herramientas de cálculo serán sensibles a las políticas que refuerzan los servicios de proximidad, evitando la movilidad innecesaria de personas y mercancías.

4. POLÍTICAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES

Todas las políticas que pretenden reducir las emisiones tienen que basarse en organizar los territorios para satisfacer las necesidades de los ciudadanos sin que ello suponga acudir a la movilidad de las personas y de las mercancías. Se trata por tanto en reducir la movilidad potenciando la inteligencia.

Se pretende reforzar las políticas de proximidad, integrando la planificación territorial y el urbanismo, reformulando el territorio para reconvertir los espacios. Regenerar el legado de la ciudad mediterránea, con las interrelaciones que en ella se materializan, por proximidad de espacios, y por la densificación de la población y de sus actividades.

La distribución de las mercancías juega un papel decisivo, hasta el punto que se han reducido las emisiones de GEI de forma importante desde el año 2007, según se constata en los

LA HUELLA DE CARBONO EN LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE

Herramienta	Período de Prospectiva	Modos de transporte		Fase del transporte donde se puede aplicar	Objeto	Organización
COPERT 4	2020	Viajeros y Mercancías	Carretera	Operación de tráfico (TTW)	Programa informático que calcula las emisiones debidas a la carretera por gestión de la movilidad o su explotación.	Universidad Aristóteles de Tesalónica. Laboratorio de Termodinámica Aplicada (LAT) – EMISIA S.A.
EMITRANS	2020	Viajeros y Mercancías	Carretera	Operación de tráfico (TTW)	Herramienta de software que está diseñada para computar las emisiones del parque de vehículos.	Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSI) – Instituto Universitario de Investigación del Automóvil (INSIA)
GLOBAL TRANS		Viajeros y Mercancías	Carretera	Todas las fases de tráfico (WTW y construcción y mantenimiento del vehículo)	Herramienta de software que está diseñada para computar las emisiones del parque de vehículos.	Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSI) – Instituto Universitario de Investigación del Automóvil (INSIA)
MECETA		Viajeros y Mercancías	Aéreo	Operación de tráfico (TTW)	Modelo específico de cuantificación de emisiones para el sector aéreo.	Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos (ETSA). Grupo de Transporte Aéreo. Explotado por Servicios de Estudios para la Navegación Aérea y la Seguridad Aeronáutica (SENASA)
EcoTRANSIT		Mercancías	Aéreo Carretera Ferrocarril Marítimo	Operación de tráfico (WTW, pero no incluyen la construcción ni el mantenimiento del vehículo)	Herramienta de información que sirve de soporte de gestión del transporte de mercancías , buscando una solución respetuosa de el medio ambiente.	Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC). Instituto para la Investigación Energética y Medioambiental (Ifeu) de Heidelberg y los Consultores de Gestión ferroviaria (RMCon)
EcoPASSENGER		Viajeros	Aéreo Carretera Ferrocarril	Operación de tráfico (WTW, pero no incluyen la construcción ni el mantenimiento del vehículo)	Es una herramienta de uso sencillo que calcula y compara el consumo de energía y emisiones de CO ₂ y gases contaminantes para el transporte de pasajeros en Europa en los modos de transporte carretera, ferrocarril y aéreo.	Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC). Instituto para la Investigación Energética y Medioambiental (Ifeu) de Heidelberg y los Consultores de Gestión ferroviaria (RMCon)
TREMOVE	2030	Viajeros y Mercancías	Aéreo Carretera Ferrocarril Marítimo	Operación de tráfico (WTW, pero no incluyen la construcción ni el mantenimiento del vehículo)	Es un modelo integrado de simulación desarrollado para el análisis estratégico de los costes y efectos de un amplio rango de instrumentos y medidas de políticas ambientales y de transporte.	Transport and Mobility Leuven

TABLA 2. Herramientas utilizadas para calcular las emisiones de la operación en la fase de tráfico de diferentes modos de transporte. Fuente: Elaboración propia.
*TTW: tanque a la rueda /WTW: pozo a la rueda.

datos del Inventario de Emisiones a la Atmósfera. Si bien este cambio se ha producido como consecuencia de la crisis, y no tanto por la optimización de la carga, este hecho nos muestra las posibilidades de reducción de consumo de energía y emisiones de GEI que se podrían obtener gestionando de manera responsable el tráfico de mercancías.

La mejora tecnológica incorporada a la mejora de la gestión de la movilidad determinará y condicionará un importante ahorro energético y de emisiones de GEI. Pero las grandes ventajas vendrán en la mejora de la gestión, aumentando la ocupación de los vehículos y mejorando la optimización de la carga en las mercancías.

5. CONCLUSIÓN

El transporte es el sector más intensivo en consumo de energía final y uno de los mayores generadores de emisiones de GEI. Además, al formar parte del grupo de sectores difusos, resulta complicado conocer cuáles pueden ser las acciones más adecuadas para reducir estos impactos, ya que este sector está sometido a variables difícilmente controlables y muy dependiente de la actividad económica. Por esta razón es necesario disponer de instrumentos fiables, con una metodología conocida y cuyos resultados sean verificables. Estas herramientas tendrían que valorar las políticas aplicadas teniendo en cuenta los impactos a lo largo de la vida útil de cada actuación. Al mismo tiempo, sería imprescindible analizar para cada iniciativa de transporte el coste del ciclo de vida para comprobar cuándo mayores inversiones iniciales, se justifican por menores emisiones o consumos energéticos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- AENOR. 2011. UNE – EN ISO 14040:2006 Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia. AENOR. Madrid.
- AENOR. 2011. UNE – EN ISO 14064:2012 Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices. AENOR. Madrid.
- Asociación de Empresas de Eficiencia Energética (A3e) e Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético (IDAE). 2011. Estudio sobre el Mercado de la Eficiencia Energética en España. A3e e IDEA. Madrid.
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). 2011. Directrices a considerar en la elaboración del informe de sostenibilidad ambiental para la aplicación de la normativa de planes y programas en infraestructura de transporte, bajo la consideración del cambio climático. CEDEX. Madrid.
- Domenech, J. L. 2007. Huella ecológica y desarrollo sostenible. AENOR. Madrid.
- Domenech, J. L. Carballo, A. Jiménez, L. De la Cruz, J. L. 2010. Estándares 2010 de Huella de Carbono MC3. CONAMA10. Madrid.
- Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLTRAP) y European Environmental Agency (EEA). 2009. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2009. EEA. Copenhagen.
- Grupo de investigación del proyecto ENERTRANS. 2010. Modelo de cálculo y predicción de los consumos energéticos y emisión del sistema de transporte que permita valorar la sensibilidad de los consumos a las decisiones de inversión en infraestructura y de política de transporte. Grupo de investigación del proyecto ENERTRANS. Madrid.
- Ifeu - Institut für Energieund Umweltforschung Heidelberg GmbH. 2010. EcoPASSENGER. Environmental Methodology and Data. ifeu - Institut für Energieund Umweltforschung Heidelberg GmbH. Heidelberg.
- Ifeu - Institut für Energieund Umweltforschung Heidelberg GmbH. 2010. EcoTRANSIT World. Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports. Methodology and Data. ifeu - Institut für Energieund Umweltforschung Heidelberg GmbH. Berlin, Hannover, Heidelberg.
- Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. 2011. BE-DEC. Guía de instalación, contenido y criterios. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Barcelona. pp. 45 – 47.
- Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético (IDAE). 2011. Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020. IDAE.
- Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético (IDAE). Balances energéticos anuales. Periodo: 1990 – 2010. IDAE. <http://www.idae.es/index.php/idpag.481/relecategoria.1368/relemenu.363/mod.pags/mem.detalle> (Acceso 30 de Noviembre de 2012).
- Lumbreras, J., Guijarro, A., López, J. M. & Rodríguez, E. 2009. Methodology to quantify the effect of policies and measures in emission reductions from road transport. Fifteenth International Conference on Urban Transport and the Environment, Bologna, 22 - 24 June, 2009. Wessex Institute of Technology, Southampton, pp. 565 – 574.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). Sistema Español de Inventario. MAGRAMA. <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/> (Acceso 30 de noviembre de 2012).
- Monzón, A. Pérez, P.J. Hernández, S. Sobrino, N. Gonzaga, L. 2012. Proyecto Operación de Autopistas Seguras, Inteligentes y Sostenibles (OASIS). Tarea 6: Optimización de los recursos energéticos. Entregable final. Subtarea: Determinación de la Huella Energética en la fase de operación de la autopista. Centro de Investigación del Transporte (TRANSyT). Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Madrid.
- Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE). 2011. Manual de cálculo y reducción de huella de carbono para actividades de transporte por carretera. OSE. Madrid.
- Observatorio de la Sostenibilidad en Aviación (OBSA). Inventario de Emisiones. OBSA. <http://www.obsa.org/PaginasOBSA/Navegacion/AreasTrabajo/Inventarios.aspx> (acceso 30 de noviembre de 2012).
- Proyecto CLEAM. 2011. Construcción limpia, eficiente y amigable con el medio ambiente (CLEAM). Tarea 4.4. Herramienta de cálculo y análisis de las emisiones de CO₂ producidas por una infraestructura durante su fase de construcción y de explotación http://www.cleam.es/investigaciones_categorias/es-emisiones (acceso 30 de noviembre de 2012).
- Strippel, H., Uppenberg, S. 2010. Life cycle assessment of railways and rail transport. Application in environmental product declarations (EPDs) for the Bothnia Line. IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd, Göteborg.
- Transport & Mobility Leuven. 2007. TREMOVE model description. Transport & Mobility Leuven. Lovaina.
- World Resources Institute - World Business Council for Sustainable Development. 2001. The Greenhouse Gas Protocol: a corporate accounting and reporting standard. World Resources Institute - World Business Council for Sustainable Development. Washington, DC, Conches-Geneva. pp.