

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE LAS CARRETERAS ESPAÑOLAS

AIR POLLUTION FROM SPANISH ROADS

Daniel Garraín Cordero
Ingeniero Químico,
Universitat Jaume I.

Rosario Vidal Nadal
Dra. Ingeniero Industrial.
Universitat Jaume I.

Recibido: 27/11/07
Aceptado: 10/03/08

RESUMEN

En este estudio se ha llevado a cabo la evaluación del impacto medioambiental que se produce por el uso de las carreteras españolas desde 2004 hasta 2006. Posteriormente, mediante la aplicación de la metodología de *Análisis de Ciclo de Vida* (ACV), se ha comparado este impacto con el producido en la etapa de construcción de las mismas, considerando las siguientes categorías de impacto: calentamiento global, formación de precursores de ozono troposférico y acidificación.

Los resultados muestran el aumento progresivo de emisión de contaminantes que provocan el calentamiento global. Además, se refleja la importancia del impacto medioambiental asociado a la etapa de construcción de carreteras.

Palabras clave: ACV, calentamiento global, precursores de ozono troposférico, acidificación, carretera.

ABSTRACT

In this study, we performed an assessment of the environmental im-

pact caused by the use of Spanish roads from 2004 to 2006. Subsequently, through the application of Life Cycle Assessment (LCA) methodology, this impact was compared with the construction stage of roads, considering the following impact categories: global warming, formation of tropospheric ozone precursors and acidification.

The results show the progressive increase of the emissions of the pollutants that cause global warming. Moreover, the importance of the environmental impact associated to the construction stage is reflected.

Key words: LCA, global warming, ozone precursors, acidification, road.

1.- INTRODUCCIÓN

La sociedad es consciente de la continua degradación del medio ambiente que existe en nuestro planeta producida por los contaminantes generados por el transporte. La contaminación provocada por el transporte en España representa uno de los principales elementos de insostenibilidad del modelo actual de desarrollo.

Informes del Ministerio de Medio Ambiente [11], [12], [13] advierten de que el transporte continúa siendo "insostenible" ya que las demandas de transporte y mercancías crecen por encima de la media europea en los últimos años. Es por esto que el gobierno español está impulsando una serie de medidas y herramientas para reducir el ruido y los contaminantes atmosféricos producidos por el transporte, y en concreto por el transporte privado por carreteras por ser el modo que más emisiones de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas genera dentro del cómputo de las emisiones debidas al transporte en todos sus modos [20].

No obstante, en las últimas décadas ha surgido entre la población una conciencia medioambiental que ha generado estrategias y metodologías capaces de evaluar el impacto al medio para conseguir una posterior disminución de contaminantes.

Una de las herramientas más ampliamente aceptada por la comunidad científica para evaluar el impacto medioambiental es el ACV, un procedimiento analítico que evalúa el ciclo de

vida completo de un proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y la eliminación final.

2.- OBJETIVOS, ALCANCE Y UNIDAD FUNCIONAL

El objetivo de este estudio es evaluar el impacto medioambiental que se produce por el uso de las carreteras españolas. Posteriormente, mediante la aplicación del concepto de ACV, se pretende determinar el impacto provocado por la construcción de las mismas.

Las categorías de impacto que se han tenido en cuenta han sido aquellas más significativas de entre las relacionadas con los efectos sobre la calidad del aire, como son el calentamiento global, la formación de precursores de ozono troposférico y la acidificación.

El impacto se determinó en cada caso tomando como unidad funcional para el calentamiento global: kg de CO₂ equivalente, para la formación de precursores de ozono: kg de C₂H₄ equivalente, y para la acidificación: kg de SO₂ equivalente. Para la comparación de los resultados obtenidos de las emisiones producidas por el uso y por la construcción, estos resultados se expresan en función de los pasajeros-kilómetro (pkm) y por toneladas-kilómetro (tkm) anuales, según recomienda la *Agencia Europea del Medio Ambiente* (AEMA). Estas últimas unidades se definen de la siguiente forma: si se agrega el producto del número de vehículos por la distancia que recorren en un año, se obtiene el número de vehículos-kilómetro por año. A partir de este dato, el número de pasajeros-kilómetro es el resultado de multiplicar los vehículos-kilómetro recorridos por coches, motocicletas y autocares (denominados como ligeros) por la ocupación media de los mismos, descontando en estos últimos el conductor del vehículo; y el número de toneladas-kilómetro se obtiene al multiplicar los vehículos-kilómetro recorridos por vehículos

pesados por la carga media de los mismos.

3.- INVENTARIO Y EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE DE LAS CARRETERAS ESPAÑOLAS

3.1.- USO DE CARRETERAS

Los contaminantes producidos por el uso de las carreteras se estimaron en base a las emisiones de los vehículos que transitan por las mismas mediante el programa informático COPERT III (*Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport*), programa financiado por la AEMA en el marco de actividades del *European Topic Center on Air and Climate Change* (ETC/ACC). COPERT III sirve para calcular las emisiones de contaminantes a la atmósfera producidos por diferentes categorías de vehículos (turismos, vehículos ligeros, vehículos pesados, ciclomotores y motocicletas), para así incluirlas en los inventarios nacionales oficiales. En este programa están integradas las correlaciones y factores de emisión de cada contaminante en función del: vehículo, carburante, pauta de conducción, kilometraje anual prome-

temperatura ambiente (inicio en frío y efectos de calentamiento) y las emisiones de Componentes Orgánicos Volátiles distintos del Metano (COVNM) debidas a la evaporación del combustible [1].

Los datos recogidos para obtener la estimación de los contaminantes producidos por el tráfico en España, tratados previamente a su introducción en el programa COPERT III, han sido los consumos y especificaciones de los combustibles para automóviles [6] Empresas suministradoras, las temperaturas máximas y mínimas mensuales en España (*Instituto Nacional de Estadística*; datos del año 2004), el parque de vehículos [10]: por antigüedad, por tipo de combustible y por tipo de vehículo (turismos y motocicletas por cilindrada, camiones y furgonetas por carga útil, autobuses y autocares), el kilometraje anual recorrido por tipo de vehículo [9], las velocidades medias por tipo de vehículo y vía [4] y la ratio de distribución kilométrica por tipo de vehículo y vía [9].

La tabla 1 muestra la cantidad equivalente de contaminantes del tráfico en España distribuidos por categorías de impacto durante los años 2004, 2005 y 2006.

Contaminante	Año 2004 (t)	Año 2005 (t)	Año 2006 (t)
CO	1.788.829	1.779.834	1.772.042
NO _x	553.460	550.712	548.745
CO ₂	93.987.948	96.191.870	99.201.439
SO ₂	30	31	32
NH ₃	10.045	11.061	12.008
N ₂ O	9.240	10.067	10.680
CH ₄	14.307	14.286	14.253
COVNM	338.280	336.929	335.344

Tabla 1. Contaminantes anuales emitidos por el tráfico que transita por las autopistas, autovías y vías interurbanas españolas.

dio, velocidad típica, tipo de motor y factores externos como la temperatura ambiente. Las emisiones estimadas también se pueden distinguir según su procedencia, ya sean las producidas durante el funcionamiento del motor estabilizado térmicamente (emisiones en caliente), las producidas durante el arranque del motor a

3.2.- CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

Para calcular el impacto ambiental asociado a la construcción de carreteras se realizó un inventario de los materiales y recursos energéticos empleados en el proceso. Estos datos se introdujeron en el programa de evaluación [17] versión 7.0. Este pro-

grama permite realizar ACV mediante el uso de bases de datos ya sean propias o bibliográficas. Con ello se logra determinar el perfil ecológico de un proceso o producto, identificando los materiales y/o procesos que presentan un peor comportamiento ambiental.

Los datos obtenidos se definieron para cada metro de cada tipo de carretera que se construye en un año y

de combustible durante la extracción y trituración de áridos [19], el consumo de combustible durante el transporte de materiales [18] y las emisiones de COVNM en la fabricación de materiales para la construcción de vías [18].

En la tabla 2 se detallan los valores de los contaminantes emitidos por la construcción de carreteras obtenidos tras introducir los datos de

de contaminante emitido por pkm - para el caso de vehículos ligeros- o por tkm -para vehículos pesados-. Para ello, se deben calcular los factores de asignación de impactos referidos a la frecuencia de paso de vehículos por tipo de vías en el caso de los contaminantes emitidos por el uso de carreteras; o referidos a la carga del vehículo -ya sea de pasajeros o de mercancías- para los conta-

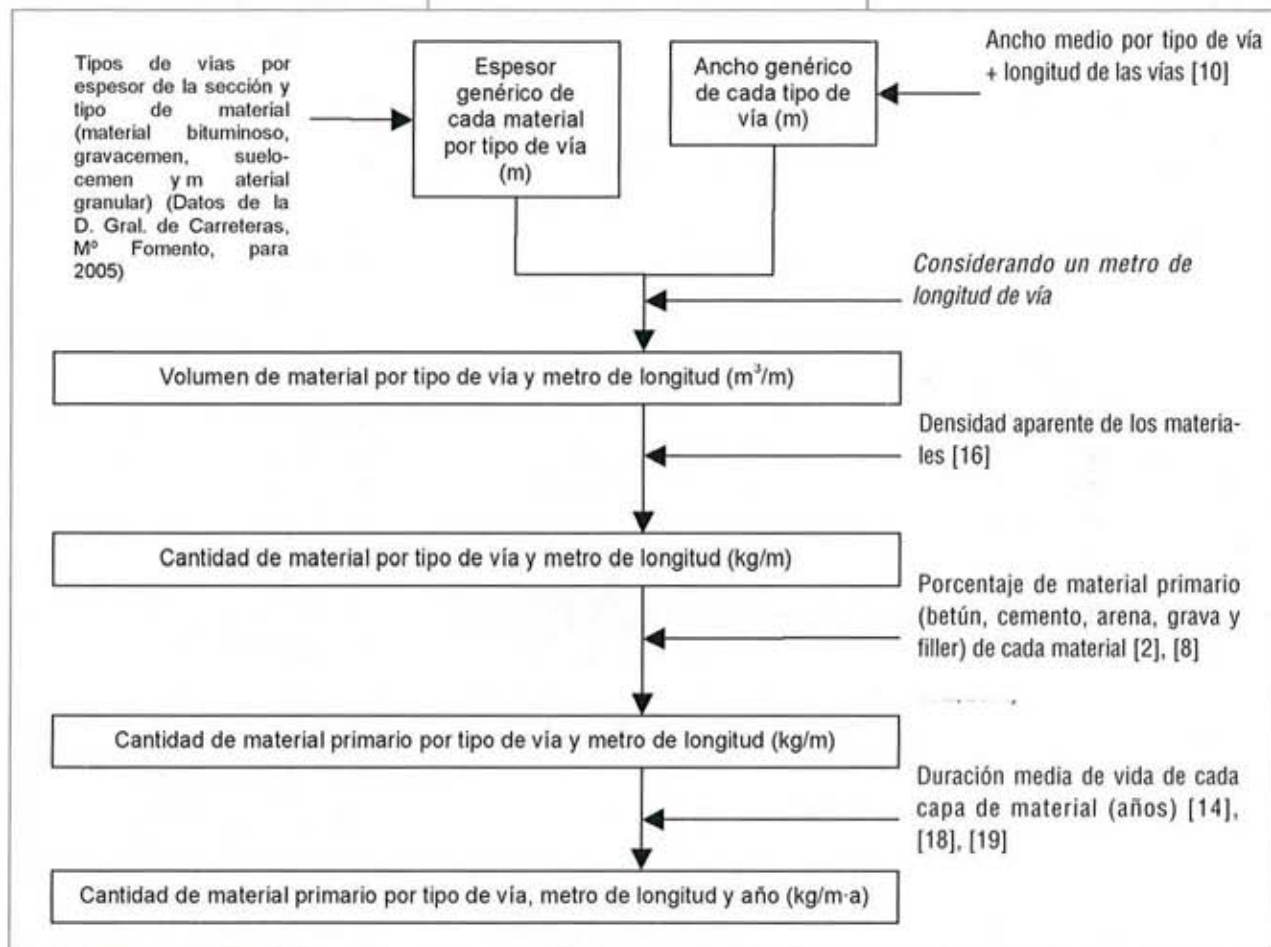


Figura 1. Diagrama de flujo de la adquisición de datos de inventario para obtener la cantidad de materiales empleados en la construcción de carreteras en España, año 2004.

se introdujeron en el programa. Para la consecución de estos datos se han recopilado y tratado los datos según el diagrama de la figura 1.

Además de estos datos, hay que tener en cuenta otros datos de inventario, desglosados por tipo de vía, tales como el consumo de combustible de la maquinaria empleada para la construcción de vías [8], el consumo

inventario anteriores en el programa SimaPro v7.0.

3.3.- ASIGNACIÓN DE IMPACTOS

Para realizar comparaciones de forma adecuada, la Agencia Europea del Medio Ambiente sugiere expresar los resultados en las unidades que se han descrito anteriormente: cantidad

minantes emitidos durante la construcción de estas infraestructuras.

En el caso del uso de carreteras, estos valores se tienen que determinar a partir de los datos introducidos en el programa de evaluación CO- PERT III: la flota de vehículos [10], el kilometraje anual recorrido por tipo de vehículo [9], la ratio de distribución kilométrica por tipo de vehículo

Cantidad de contaminante	Tipo de vía	
	Vías interurbanas	Autopistas y autovías
kg CO ₂ eq. / m-a	33	94
g C ₂ H ₄ eq. / m-a	13	31
g SO ₂ eq. / m-a	248	603

Tabla 2. Factores de asignación de contaminantes emitidos por la construcción de carreteras en España, por tipo de vía.

y vía [9], los datos de transporte por tipo de vehículo [10] y el tráfico por tipo de vía [10] para conseguir el valor de carga media por tipo de vehículo, ya sea de pasajeros o de mercancías. Con los datos anteriores, se obtienen los factores de asignación para transporte de viajeros y mercancías de la siguiente forma: para vías interurbanas 153.112 M pkm y 85.895 M tkm; para autopistas y autovías 126.108 M pkm y 88.945 M tkm.

En el caso de la construcción de carreteras, los valores de asignación de impactos se obtienen a partir de los datos de tráfico y transporte por tipo de vía y tipo de vehículo [10], de la longitud total de cada tipo de vía

de impacto se reflejan en la tabla 3.

Los resultados muestran el aumento progresivo de las emisiones de contaminantes que provocan el calentamiento global, debido principalmente al aumento del parque y tráfico de vehículos. En el caso de acidificación los resultados se mantienen y en los precursores de ozono troposférico disminuyen. Una de las razones principales se debe a las nuevas tecnologías aplicadas a los nuevos vehículos y combustibles que proporcionan una disminución de ciertos gases como los NO_x y COVNM.

Estos resultados están de acuerdo con los publicados por el *Ministerio de Medio Ambiente* [13], que mues-

Categoría	Unidad	2004	2005	2006
Calentamiento global	t CO ₂ eq.	97.105.329	99.500.280	102.690.538
Precusores de ozono	t C ₂ H ₄ eq.	1.210.473	1.204.779	1.199.937
Acidificación	t SO ₂ eq.	292.838	293.091	293.624

Tabla 3. Contaminantes anuales producidos por el tráfico por categoría de impacto

[10] y del factor de asignación de la carga por tipo de vehículo [18]. Con estos datos, se obtienen los factores de asignación de impacto para la carga de cada tipo de vehículo de la siguiente forma: para vías interurbanas 2,15E-04 m-a/pkm y 6,65E-04 m-a/tkm; para autopistas y autovías 1,77E-05 m-a/pkm y 4,27E-05 m-a/tkm.

4.- RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los contaminantes emitidos por el tráfico distribuidos por categorías

tran exactamente que la tendencia de los últimos años se corresponde con los resultados obtenidos. De la misma forma también se corresponden con los predichos por [5], que estiman unos resultados de emisiones de dióxido de carbono de alrededor de 100 millones de toneladas.

Para poder comparar estos contaminantes con los emitidos por la construcción de carreteras, se deben desglosar tanto por el tipo de vía en la que se producen como por el tipo de vehículo.

Las figuras 2,3 y 4 muestran los resultados de la evaluación de los im-

pactos de la construcción y el uso de las carreteras españolas sobre la calidad del aire por categorías.

Estos resultados muestran, como era predecible, que la cantidad de contaminantes producidos por el tráfico es mucho mayor que la cantidad asociada a la construcción de vías. Sin embargo, esta cantidad no resulta despreciable frente a la primera.

Cuando se habla de carreteras e impacto medioambiental, normalmente este impacto se achaca al tráfico de los vehículos y a sus emisiones atmosféricas. De los resultados obtenidos se puede afirmar que la construcción de las mismas degrada considerablemente el medio ambiente. Comparando los resultados por tipo de vía, se observa que las autopistas y autovías son más sostenibles que el resto de la red interurbana en cuanto a la fase de construcción. Esto es atribuible a la mayor circulación de vehículo por autopistas y autovías en comparación con las vías de la red interurbana. Esto hace que, aunque para la construcción de una autopista o autovía se necesite un mayor número de recursos, las emisiones por flujo de pasajeros o mercancías sean mucho menores. Las emisiones que causa la construcción de autopistas y autovías por número de pasajeros o cantidad de mercancías transportadas son aproximadamente un 80% menores que las causadas por el resto de la red de carreteras. Un ejemplo de esta situación sería la escasa circulación que existe en las vías interurbanas de la meseta española, provocando que el efecto nocivo sea mayor.



En cuanto al uso de las carreteras, resulta más complicado afirmar qué tipo de vía es más sostenible, ya que la emisión de contaminantes depende de varios factores relacionados básicamente con el consumo de combustible: velocidad del vehículo, número de arranques y paradas o nivel de carga de viajeros y mercancías. Se puede afirmar que en las categorías de calentamiento global y acidificación existe una mayor afectación en autopistas y autovías, justificable por el mayor consumo de combustible al circular los vehículos por esas vías a mayor velocidad. En el caso de los precursores de ozono troposférico, la mayor cantidad de eteno equivalente emitida en las vías interurbanas puede ser atribuida a la realización de un mayor número de

Cuando se habla de carreteras e impacto medioambiental, normalmente este impacto se achaca al tráfico de los vehículos y a sus emisiones atmosféricas

arranques en frío en estas vías, durante los cuales se emiten cantidades apreciables de monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno, que son los

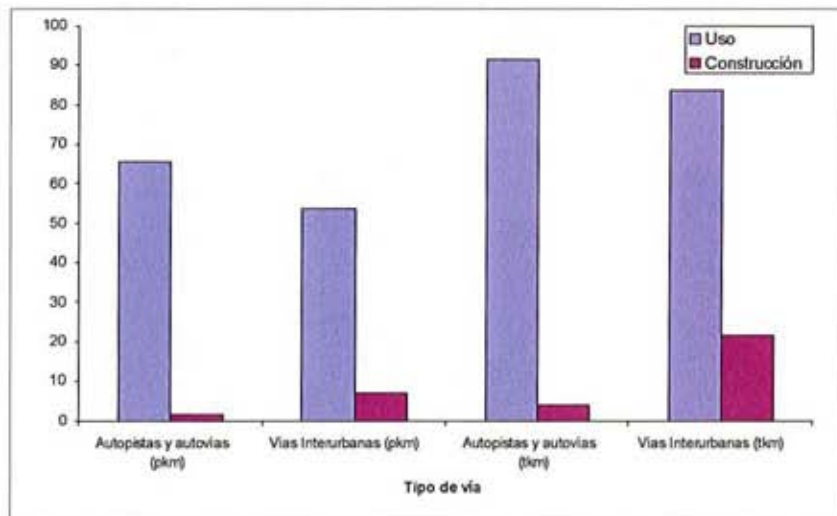
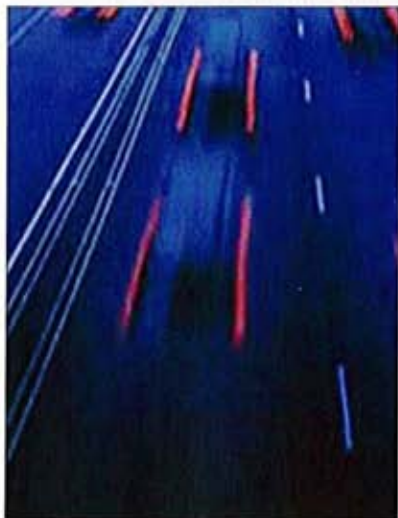


Figura 2. Emisiones de CO_2 equivalente por pkm (tkm) por tipo de vía en España, año 2006.

principales precursores del ozono fotooxidante o troposférico.

Finalmente, cabe destacar que con estos resultados y conclusiones se pone de manifiesto la necesidad de realizar una recopilación de datos que permitan crear una base fiable para poder hacer evaluaciones del impacto de las carreteras a lo largo de su ciclo de vida completo y no únicamente centradas en su etapa de uso, sino que incluyan además el mantenimiento, la operación y el reciclaje de este tipo de infraestructuras.

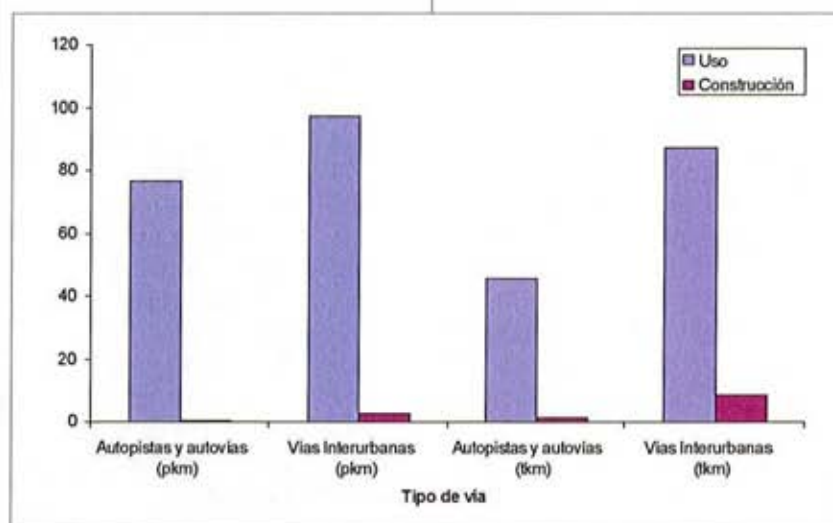


Figura 3. Emisiones de C_2H_4 equivalente por pkm (tkm) por tipo de vía en España, año 2006.

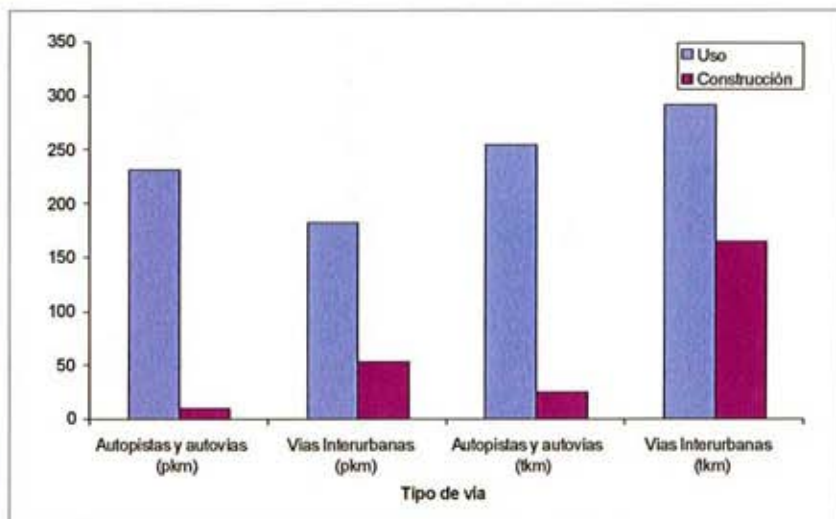


Figura 4. Emisiones de SO_2 equivalente por pkm (tkm) por tipo de vía en España, año 2006.

5.- BIBLIOGRAFÍA

[1] AEMA & ETC/AA. COPERT III. Computer program to calculate emissions from road transport. Methodology and emission factors and users manual. 2000.

[2] ANEFA, Asociación Española de Fabricantes de Áridos (datos de la página web: [Junio 2006]).

[3] BOWMAN, M.E., MOLL, H.C. "Environmental analysis of land transportation systems in the Netherlands", *Transportation Research part D: Transport and Environment*, 7 (5), 2002, pp. 331-345.

[4] BURÓN, J.M., LÓPEZ, J.M., APARICIO, F., MARTÍN, M.A., GARCÍA, A. "Estimation of road transport emissions in Spain from 1988 to 1999 using COPERT III program", *Atmospheric Environment*, 38, 2004, pp. 715-724

[5] BURÓN, J.M., APARICIO, F., IZQUIERDO, O., GÓMEZ, A., LÓPEZ, I. "Estimation of the input data for the prediction of road transportation emissions in Spain from 2000 to 2010 considering several scenarios", *Atmospheric Environment*, 39, 2005, pp. 5585-5596.

[6] CORES. "Informe resumen anual del Boletín Estadístico de Hidrocarburos - Año 2006", Corpora-

ción de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos, Ministerio de Industria y Comercio, 2006.

[7] CHOKI, S. "Life cycle assessment of road maintenance works in Sweden", *Environmental Engineering and Sustainable Infrastructure (EESI)*, Report, Stockholm, 2005.

[8] IVE. "Base de datos para la Construcción. Años 2003-2004", Instituto Valenciano de la Edificación, 2004.

[9] MEET. "Methodologies for calculating transport emissions and energy consumption for road transport", *Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Transport*, Transport Research laboratory, USA, 1999.

[10] MFOM. "Anuario 2006", Ministerio de Fomento, 2007.

[11] MMA. "Perfil Ambiental de España 2004. Informe basado en indicadores", Ministerio de Medio Ambiente, D. Gral. de Calidad y Evaluación Ambiental, 2005.

[12] MMA. "Perfil Ambiental de España 2005. Informe basado en indicadores", Ministerio de Medio Ambiente, D. Gral. de Calidad y Evaluación Ambiental, 2006.

[13] MMA. "Perfil Ambiental de España 2006. Informe basado en indicadores", Ministerio de Medio Ambiente, D. Gral. de Calidad y Evalua-

ción Ambiental, 2007.

[14] MROUEH, U.M., ESKOLA, P., LAINE-YLIJOKI, J., WELLMAN, K. "Life cycle assessment of road construction", *Finnra Reports 17/2000*, The Finnish National Road Administration, 2000.

[16] NBE-AE/88, Real Decreto RD 1370/1988, de 25 de Julio, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación "NBE-AE/88". Acciones en la edificación.

[17] SimaPro software version 7.0. PRé Consultants, Amersfoort, The Netherlands, 2004.

[18] SPIELMANN, M., KÄGI, T., STADLER, P., TIETJE, O. "Life cycle inventories of transport services", *Ecoinvent report N°14*, Swiss centre for life cycle inventories, Dübendorf, 2004.

[19] STRIPPLE, H. "Life cycle assessment of roads - A pilot study for inventory analysis", *Swedish National Road Administration (IVL)*, Gothenburg, 2001.

[20] TRAMA. "TRAMA 2005. Informe sobre transporte y medio ambiente", *TRANSYT (Centro de Investigación del Transporte)* y Ministerio de Medio Ambiente, 2005.

[21] TRELOAR, G.J., LOVE, P.E.D., CRAWFORD, R.H. "Hybrid life-cycle inventory for road construction and use", *Journal of construction engineering and management - ASCE* 130 (1), 2004, pp. 43-49.

6.- AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado como parte del proyecto "Indicadores de impacto y vulnerabilidad de las infraestructuras españolas". XXIV Concurso Público de "Ayudas a la investigación 2005" sobre temas de infraestructuras de la Secretaría de Estado de Infraestructuras y Planificación del Ministerio de Fomento de España (Orden FOM/2376/2005). ■