

## OCUPACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DEL SUELO DE LAS CARRETERAS ESPAÑOLAS

Garraín, D.<sup>(P)</sup>; Vidal, R.; Franco, V.

### Abstract

The term 'land use' is traditionally used to denote a classification of human activities which occupy land area. In the field of Life Cycle Assessment (LCA), the terms 'land use' or 'land use impact' have been used to designate the environmental impacts related to physical occupation and transformation of geographic areas.

Our study focuses on the calculation of land surface occupation attributed to Spanish roads, stressing the discrepancy of results determined by the choice of data source. Occupation values are subsequently used to calculate temporal occupation and transformation values of soil into roadways.

Transformation values can be incorporated into LCAs of this type of infrastructures, since they can be expressed in terms of vehicle flow.

Finally, the need to consider the potential territorial fragmentation and implications on land productivity during road planning is highlighted.

*Keywords: Land Use, Occupation, Transformation, Roads, Land Fragmentation*

### Resumen

El término "uso del suelo" se ha utilizado tradicionalmente para denotar una clasificación de las actividades humanas que ocupan superficie de suelo. En el campo del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), el término "uso del suelo" o "impacto de uso del suelo" ha sido utilizado para designar los impactos medioambientales referidos a ocupación y transformación física de áreas de terreno.

Nuestro estudio está centrado en el cálculo de la ocupación superficial de terreno de las carreteras españolas, resaltando la disparidad de los resultados obtenidos según cuál haya sido la fuente de datos consultada. El valor de ocupación es utilizado posteriormente para calcular la ocupación temporal y la transformación de suelo a calzada.

El valor de la transformación puede incorporarse a los efectos medioambientales que causa este tipo de infraestructura a la hora de realizar un ACV de la misma, ya que se puede expresar en función del flujo de vehículos.

Finalmente, se destaca la necesidad de considerar la fragmentación de territorio que potencialmente puede causarse y sus implicaciones en la productividad del terreno cuando se planifica un vial.

*Palabras clave: Uso del Suelo, Ocupación, Transformación, Carreteras, Fragmentación del Territorio*

## 1. Introducción

El término “uso del suelo” tradicionalmente se utiliza para denotar una clasificación de las actividades humanas que ocupan superficie de suelo. En el campo de ACV, el término “uso del suelo” o “impacto de uso del suelo” ha sido utilizado para denotar impactos medioambientales referidos a ocupación y transformación física de áreas de terreno [1].

En los estudios destinados a evaluar el impacto ambiental de productos o procesos mediante la aplicación del ACV, la categoría de impacto sobre el uso del suelo no siempre se considera o no se adecua a la realización de dichas evaluaciones. Esta circunstancia, junto con la escasa disponibilidad de datos, ha motivado que la aplicación de los indicadores de uso del suelo resulte, todavía hoy en día, compleja debido a que existe una gran indefinición sobre los parámetros a considerar y la metodología a seguir.

El uso del suelo, ya sea para agricultura, recursos forestales, recursos mineros, construcción de viviendas, industria, infraestructuras, etc., conlleva impactos medioambientales sustanciales, particularmente los que afectan a la biodiversidad y a la calidad del mismo.

Varios autores han revisado los diferentes indicadores para el cálculo del impacto del uso del suelo. En los primeros estudios, la evaluación se realizaba en base a la superficie de terreno ocupada. La categoría de impacto de uso del suelo se relacionaba con el área ocupada usada en relación con el ciclo de vida de un producto o sistema, calculada sin pretender distinguir entre las diferentes formas de uso de tierra y sin considerar el estado original del suelo [2]. Existía consenso en combinar esta ocupación con el tiempo durante el cual se realizan las actividades humanas, por tanto, se añadía a la extensión ocupada el período de tiempo durante el cual se ejercía la actividad, midiéndose el impacto en términos de área multiplicada por tiempo [3]. Pero este valor de ocupación debe estar acompañado de una evaluación cualitativa de los cambios que sufre el suelo como consecuencia de su uso. Con carácter internacional se acepta que la fase de inventario de ciclo de vida debe centrarse en dos aspectos del uso del suelo: el área ocupada y los cambios que se producen en la calidad del suelo. Aparecen así dos conceptos: ocupación y transformación del suelo [1, 4].

Estudios posteriores han desarrollado métodos para presentar indicadores que miden el deterioro de la biodiversidad y las alteraciones de las funciones de soporte vital del suelo debidas al uso del mismo.

De entre estos métodos, cabe destacar los desarrollados para el análisis del impacto del uso del suelo sobre la biodiversidad [5-12]; los desarrollados para analizar los impactos sobre las funciones de soporte de vida [13-15]; y los que evalúan los impactos sobre la biodiversidad y sobre las funciones de soporte vital por separado [1, 16-18].

Por otra parte, algunos autores [19-20] han desarrollado nuevos métodos para analizar el impacto debido al uso del suelo basados en la medida de la capacidad que posee un ecosistema para disipar la exergía. Kloverpris et al. [21] realizan un modelo de inventario del uso del suelo provocado por el consumo de las cosechas.

Otros autores han realizado comparaciones cualitativas de los métodos que tienen en cuenta los impactos sobre la biodiversidad y las funciones de soporte de vida [22], o han aplicado algunos de ellos a casos particulares: materiales de construcción [23], invernaderos [24] y cultivos para aceites vegetales [18].

En este estudio se ha calculado el valor de la ocupación de las carreteras españolas y el de la transformación a calzada. Además se ha considerado el efecto potencial que pueden causar estas infraestructuras sobre la fragmentación del territorio y se ha calculado la “huella ecológica” que provocan las emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte por el uso de las carreteras.

## 2. Ocupación de suelo de las carreteras españolas

El cometido de este indicador es la estimación de la cantidad de suelo ocupada por las infraestructuras de carreteras, para así posteriormente poder evaluar el impacto ambiental.

Para realizar la cuantificación del área equivalente de suelo ocupado se han tomado diversas fuentes de datos.

### 2.1 Fuente 1: Datos nacionales y cálculos directos

En este caso las fuentes de datos han sido:

- El Ministerio de Fomento [25] para hallar la longitud de la red viaria a cargo del estado y de las CC.AA. La anchura media estimado para cada tipo de vía ha sido de 25 m para autovías y autopistas; 17 m para vías de doble calzada; 10 m para vías de anchura > de 7 m; 6 m para vías entre 5 y 7 m de anchura; y 5 m para vías de anchura < de 5 m.
- Las legislaciones vigentes a nivel nacional y autonómico para obtener el dato de de área de afectación que proporcionará el anchura de afectación o servidumbre, descritas en la tabla 1.

Región	Zona de servidumbre (m)					Fuente
	Autovías autopist.	Doble calzada	Anchura > 7 m	Anchura 5-7 m	Anchura < 5 m	
ESPAÑA	25	8	8	8	8	[26-29]
Andalucía <sup>1</sup>	25	8	8	8	8	[30]
Aragón	25	8	8	8	8	[31]
Asturias	25	8	8	8	8	[32]
Baleares	25	18	8	8	8	[33]
Canarias	25	17	8	8	8	[34]
Cantabria	-	-	18	14	10	[35]
Castilla la Mancha	25	8	8	8	8	[36]
Castilla y León	25	8	8	8	8	[37]
Cataluña	25	8	8	8	8	[38]
Extremadura	25	8	8	8	8	[39]
Galicia	17	2	2	2	2	[40]
La Rioja	-	8	8	8	8	[41]
Madrid	10	10	10	10	10	[42]
Murcia	50	30	30	30	30	[43]
Navarra	25	8	8	8	8	[44]
País Vasco	25	8	8	8	8	[45]
Comunidad Valenciana <sup>2</sup>	25	8	8	8	8	[46]

<sup>1</sup>Se incluye Ceuta y Melilla. <sup>2</sup> Se han supuesto valores generales de zona de servidumbre (25 metros en autopistas y autovías, y de 8 metros en el resto de carreteras) ya que no se distingue entre zona de servidumbre y zona de protección.

Tabla 1. Anchura de las zonas de servidumbre según las legislaciones nacionales y autonómicas.

Considerando estas fuentes, el área total ocupada por las carreteras españolas para el año 2004 ha sido de **449.313,5 hectáreas**.

## 2.2 Fuente 2: Datos europeos y cálculos indirectos

En este caso las fuentes de datos han sido Eurostat [47] para calcular la longitud de la red viaria, y la Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA) [48] para obtener un factor de ocupación indirecto que tiene en cuenta la afectación que provocan los alrededores de las carreteras. La tabla 2 muestra los resultados.

Tipo de vía	Red viaria (km) [47]	Factor de ocupación (Ha/km) [48]	Área ocupada (Ha)
Autopistas y autovías	9.571	7,5	71.782,5
Carreteras estatales	17.074	6	102.444
Carreteras provinciales	69.167	4,5	311.251,5
Carreteras comunales	67.987	2	135.974

Tabla 2. Longitud de la red viaria, factor de ocupación indirecto y área ocupada de las carreteras españolas según datos europeos, año 2004.

Por tanto, el área total ocupada por las carreteras españolas para el año 2001 según estas fuentes ha sido de **621.452 hectáreas**.

## 2.3 Fuente 3: Datos del proyecto CORINE Land Cover

El proyecto o programa CORINE Land Cover (CLC), tiene como objetivo fundamental la captura de datos de tipo numérico y geográfico para la creación de una base de datos europea a escala 1:100.000 sobre la Cobertura y/o Uso del Territorio.

El Centro Temático Europeo del Medio Ambiente Terrestre (ETC/TE), dependiente de la AEMA, es el responsable de la adquisición y cesión de datos correspondientes a distintos usos del suelo europeo. Uno de los distintos usos del suelo que distingue es el correspondiente a “red de carreteras y ferrocarril y tierra asociada”, determinada ya en hectáreas. Por lo tanto el valor de dicho uso de suelo será el correspondiente al indicador.

La tabla 3 muestra los datos recogidos del proyecto CORINE Land Cover, proporcionados por el European Topic Center on Terrestrial Environment (ETC/TE), que corresponden a los cambios de uso del suelo ocurridos en España desde el año 1990 al año 2000. Por lo tanto, tan sólo hay que tener en cuenta los datos que corresponden a “red de carreteras y ferrocarril y tierra asociada” en el año 2000. En la siguiente tabla se muestran los datos de dicho uso de suelo y de qué otro tipo de suelo provenían.

Código	Tipo de uso en 1990	Área (Ha)
111	Estructura urbana continua	92
112	Estructura urbana discontinua	14
121	Unidades industriales o comerciales	55
122	Red de carreteras y ferrocarril y tierra asociada	3.835
131	Lugares de extracción de minerales	32
133	Lugares de construcción	174

211	Tierra arable de secano	815
212	Tierra de regadío permanente	132
222	Plantaciones de árboles frutales y bayas	105
223	Olivares	81
231	Pastos	386
241	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	89
242	Cultivos complejos	575
243	Suelo principalmente agrícola (con áreas de vegetación natural)	108
244	Áreas agro-forestales	84
311	Bosques de matorrales	38
312	Bosques de coníferas	99
313	Bosques mixtos	33
321	Pradera natural	296
322	Páramos	28
323	Vegetación esclerófila	187
324	Arbustos de bosques de transición	96
333	Áreas escasamente vegetales	49

Tabla 3. Área transformada a red de carreteras, ferrocarril y tierra asociada en 2000, según el CLC.

Así, el área total ocupada por las carreteras españolas según el CLC para el año 2000 ha sido de **7.403 hectáreas**.

## 2.4 Discusión de los resultados

Al comparar los resultados obtenidos se observa la gran diferencia entre los valores. Desde el punto de vista más preciso, el método de cálculo basado en datos nacionales es el más adecuado y exacto ya que tiene en cuenta cada tipo de vía, cada anchura y, sobre todo, cada legislación aplicada al tipo de vía y comunidad autónoma. El mayor valor obtenido con datos europeos es debido principalmente al mayor valor tanto de la longitud de red de carreteras estatales como de anchura con respecto a los datos nacionales.

El valor obtenido con la fuente CLC es del orden de cien veces menor, debido principalmente a la baja resolución a la hora de tomar datos del proyecto. La unidad mínima de mapeo del proyecto CLC es de 25 hectáreas con una anchura mínima de polígono de 100 metros. Por lo tanto, si se considera que cada unidad de mapeo corresponde aproximadamente a un rectángulo de 100 x 2.500 metros es muy difícil que el satélite distinga el área ocupada por una carretera normal, ya que la mayoría de la infraestructura de transporte en España es inferior a los 100 metros de anchura. Sí que considerará las grandes autopistas, autovías y ejes viarios, de ahí el valor tan inferior obtenido por este método. Un ejemplo de la captación de datos se observa en la figura 1.

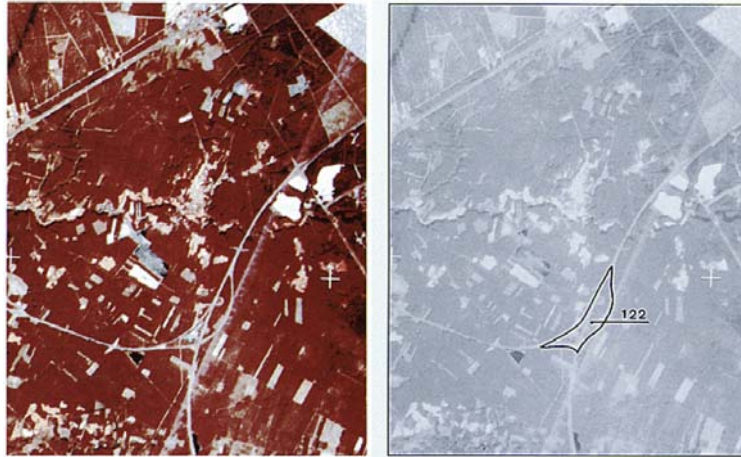


Figura 1. Interpretación del CLC de los ejes viarios [49].

Teniendo en cuenta la superficie total de España (50.464.500 Ha) y tomando los datos nacionales, la ocupación de estas infraestructuras representa casi el 0,9%. En comparación con otros países de la Unión Europea (Bélgica 4%, Luxemburgo 2,5%, Holanda 2,3% o Alemania 2,1%), considerándose como un continente que está densamente poblado y que se encuentra saturado de infraestructuras de transporte, España ocupa uno de los puestos más bajos en porcentaje de ocupación, estando muy por debajo de la media de 1,3% [50]. No obstante, el aumento progresivo de la longitud de las carreteras, particularmente de autopistas y autovías, y el desarrollo de nuevos caminos indican que el porcentaje va en aumento y, con ello, un mayor uso de suelo, provocando la fragmentación del territorio.

### 3. Transformación de suelo provocada por las carreteras españolas

La metodología seguida para el cálculo de transformación de suelo de las carreteras españolas está basada en estudios sobre impacto y degradación de la biodiversidad [2, 17, 51, 52] que hallan el área ocupada por metro de longitud de red y por año, por tanto la unidad funcional será  $m^2/m\cdot a$ .

Los datos disponibles fuerzan a tomar como referencia temporal del estudio el período de 14 años, desde 1990 a 2004 [25]. Teniendo en cuenta el incremento de la red viaria durante este período, el porcentaje de variación ha sido del 5,75 % (de 156.172 a 165.152 km).

Aplicando proporcionalmente este valor a la cantidad total de ocupación hallada anteriormente, se determina el área ocupada al principio del período de estudio. Teniendo en cuenta los valores de longitud de las redes viarias y el período de tiempo del estudio, se calcula, por tanto, el valor de la transformación.

Tipo de infraestructura	Datos nacionales ( $m^2/m\cdot a$ )	Datos europeos ( $m^2/m\cdot a$ )
Autopistas y autovías	0,307	0,173
Vías interurbanas	0,098	0,146

Tabla 4. Indicador de impacto de transformación de suelo provocada por las carreteras españolas por tipo de vía y metodología usada.

Este valor de la transformación puede incorporarse a los efectos medioambientales que causan las carreteras a la hora de realizar un ACV de la misma, ya que se puede expresar en función del flujo de vehículos o unidad de transporte. Con ello se podrán realizar

comparaciones de forma adecuada ya que la EEA sugiere expresar los resultados ambientales en función de esta unidad, expresándolos por pasajeros-kilómetro (pkm) y por toneladas-kilómetro (tkm) anuales. Si agregamos el producto del número de vehículos por la distancia que recorren en un año, obtenemos 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.

Los valores de asignación de impacto para cada tipo de vía están basados en la frecuencia de paso de cada tipo de vehículo ya sean ligeros o pesados y se obtienen a partir de los siguientes datos:

- Tráfico y transporte por tipo de vía y tipo de vehículo [25].
- Longitud total de cada red viaria [25].
- Factor de asignación de la intensidad y frecuencia de paso por tipo de vehículo (77% ligeros y 23% pesados) [51].

Los factores de asignación obtenidos se muestran en la tabla 5.

<b>Factor de asignación</b>	<b>Autopistas y autovías</b>	<b>Vías interurbanas</b>
m·a / pkm	4,44E-05	5,37E-04
m·a / tkm	1,40E-05	2,17E-04

Tabla 5. Factores de asignación de impacto de la intensidad y frecuencia de paso de las carreteras españolas, por tipo de vía, año 2004.

Finalmente, con los valores de las tablas 4 y 5 se obtienen los valores de transformación en función del flujo de vehículos. La figura 2 muestra estos resultados en función de la fuente de datos.

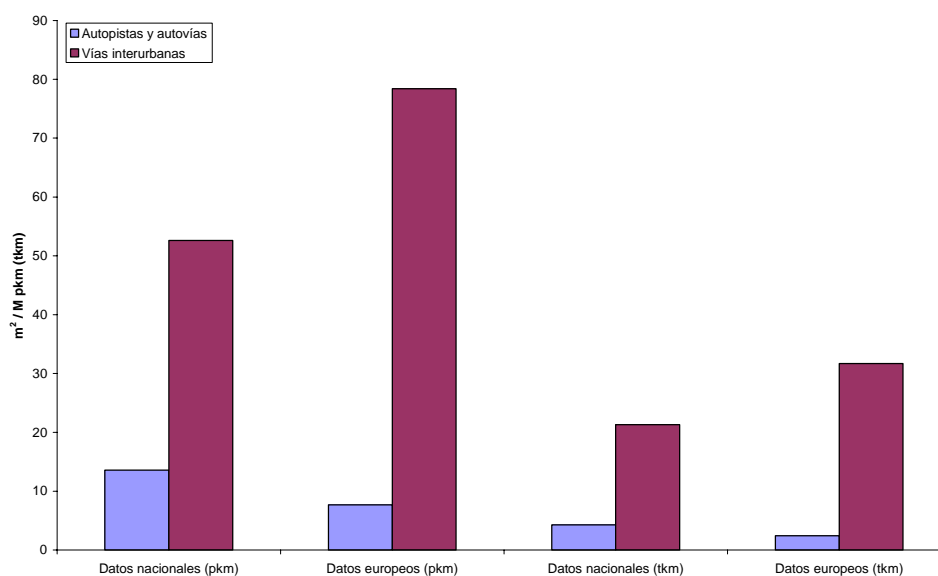


Figura 1. Transformación de suelo provocada por las carreteras españolas por tipo de vía, por pkm (tkm) y por fuente de datos.

### **3.1 Discusión de los resultados**

Observando los resultados de la figura, se puede afirmar que las autopistas y autovías son más sostenibles que las vías interurbanas. Esto se debe a que la circulación de vehículos es mucho mayor y hace que el uso que se requiera de terreno sea bastante inferior para una misma unidad de transporte.

No obstante, comparando estos valores con otras infraestructuras de transporte a nivel europeo, el ferrocarril requiere el menor uso de suelo por unidad de transporte (p. ej. Área por pkm): el área requerida por pkm del ferrocarril es aproximadamente 3,5 menor que para el caso de pkm por carretera [50].

### **4. Fragmentación del territorio**

La construcción de infraestructuras de transporte, en especial la red de carreteras, es una de las principales causas antropogénicas de fragmentación en los ecosistemas terrestres, por lo tanto, es muy importante su consideración a la hora de planificar el desarrollo de un nuevo vial.

La incidencia que las infraestructuras tienen sobre los ecosistemas naturales no se limita a la ocupación física o a las afecciones directas sobre comunidades vegetales o faunísticas (atropellos, ahuyentamiento, etc.). La fragmentación de los ecosistemas que provocan, sobre todo las redes más pesadas (autovías o autopistas), es una causa bien documentada de degradación ecológica, relacionada directamente con la pérdida de biodiversidad y la pérdida de productividad. Estas infraestructuras actúan como verdaderas fronteras para los desplazamientos de la fauna, con lo que los territorios de desarrollo e intercambio genético de algunas especies se ven reducidos hasta poner en peligro su potencial reproductivo y su propia supervivencia. Entre las consecuencias de la fragmentación viaria se cuentan la reducción del área neta y funcional del ecosistema, el aumento del aislamiento y el aumento en la permeabilidad a los impactos externos debidos a la proliferación de zonas marginales o de borde [53-55].

También es un tema muy importante la consideración del impacto visual o paisajístico que puede provocar una carretera, ya que su diseño introduce grandes elementos con geometría artificial que son discordantes con las formas naturales del territorio. Además, se producen agudos contrastes cromáticos con el entorno por la presencia de zonas desnudas de vegetación, o por el color de los materiales de la propia vía [54].

La Convención sobre Diversidad Biológica de la Naciones Unidas considera la fragmentación territorial como una amenaza importante tanto para la biodiversidad como para la especie, como queda reflejado en la Estrategia Biológica sobre Diversidad Biológica y Paisajística, así como en la Estrategia para la Biodiversidad de la Comisión Europea y en la Directiva sobre Hábitats de la Comisión Europea. El tamaño medio de las unidades de tierra contigua no cortadas mediante infraestructuras de transporte en la Unión Europea es de 175 km<sup>2</sup>. En España este valor ronda los 250 km<sup>2</sup> debido a una baja densidad de infraestructuras. Otros países tienen valores mucho más inferiores como Bélgica, Luxemburgo o Alemania cuya área no sobrepasa los 50 km<sup>2</sup> [50].

### **5. El concepto de “huella ecológica”**

Un indicador muy didáctico de la importancia de las emisiones que provoca el transporte, y de la dificultad de gestionarlas, puede obtenerse mediante la aplicación del concepto de “huella ecológica” [56]. La huella ecológica de una actividad (en este caso el transporte) se define como el área de terreno necesaria para proporcionar los recursos que esta actividad utiliza, y para asimilar los desechos que genera. La huella ecológica del transporte sería, por



lo que se refiere a sus emisiones, la cantidad de terreno con cubierta vegetal necesaria para absorber todo el CO<sub>2</sub> que genera el transporte.

Para el caso de España, tras el estudio previo para obtener emisiones de contaminantes debidas al transporte por carretera [57], se ha obtenido un valor aproximado de 44 millones de hectáreas de área de bosque necesarios para absorber los más de 96 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidos durante el año 2004. Esta superficie equivale casi al 90% de la superficie total de España, lo que significa que se requeriría prácticamente casi un territorio como España, deshabitado y cubierto íntegramente de bosque, para asimilar las emisiones actuales del transporte.

## 6. Conclusiones

Las conclusiones destacables de este estudio son las siguientes:

- El método de cálculo de la ocupación de las carreteras españolas basado en datos nacionales es el más adecuado y exacto ya que tiene en cuenta cada tipo de vía, cada anchura y, sobre todo, cada legislación aplicada al tipo de vía y comunidad autónoma. Este valor no sobrepasa el 0,9% de la superficie total española, ocupando así uno de los puestos más bajos a nivel europeo, estando muy por debajo de la media de 1,3%.
- En cuanto a la transformación de carreteras, las autopistas y autovías son más sostenibles que las vías interurbanas. Esto se debe a que la circulación de vehículos es mucho mayor y hace que el uso que se requiera de terreno sea bastante inferior para una misma unidad de transporte.
- Es muy importante la fragmentación de terreno que provocan las infraestructuras. En España el valor del tamaño medio de las unidades de tierra contigua no cortadas mediante infraestructuras de transporte ronda los 250 km<sup>2</sup> y no supone un efecto tan devastador como en otros países europeos cuyo tamaño no sobrepasa los 50 km<sup>2</sup>.
- El indicador superficial de “huella ecológica” provocada por las emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte en España posee un valor equivalente casi a la totalidad del territorio nacional.

## Referencias

- [1] Weidema, B., Lindeijer, E. “Physical impacts of land use in product life cycle assessment”. *Final report of the EURENVIRON-LCAGAPS sub-project on land use*, Department of Manufacturing Engineering and Management, Technical University of Denmark, 2001.
- [2] Lindeijer, E. “Review of land use methodologies”, *Journal of Cleaner Production* 8 (2000), pp. 273-281.
- [3] Guinée, J.B. “Handbook on Life Cycle Assessment: An operational guide to the ISO standards”, *Kluwer Academic Publishers*, 2002.
- [4] Antón, A. “Utilización del análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo”, *Tesis doctoral*, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2004.
- [5] Köllner, T. “Species-pool effect potentials (SPEP) as a yardstick to evaluate land-use impacts on biodiversity”, *Journal of Cleaner Production*, 8 (2000), pp. 293-311.
- [6] Köllner, T. “Land use in product life cycles and its consequences for ecosystem quality”, *Dissertation PhD 2519*, Universität St. Gallen, Switzerland, 2001.

- [7] Köllner, T., Scholz, R.W. "Assessment of land use impacts on the natural environment. Part 1: An analytical Framework for pure land occupation and land use change", *International Journal of Life Cycle Assessment* 12 (1) pp. 16-23 (2007).
- [8] Köllner, T., Scholz, R.W. "Assessment of land use impacts on the natural environment. Part 2: Generic characterization factors for local species diversity in central Europe", *International Journal of Life Cycle Assessment* 13 (1) pp. 32-48 (2008).
- [9] Goedkoop, M., Spriensma, R. "The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment", *Methodology report, Third Edition, PRé Consultants, Amersfoort, The Netherlands, 2001.*
- [10] Michelsen, O. "Assessment of land use impact on biodiversity", *International Journal of Life Cycle Assessment* 13 (1) pp. 22-31 (2008).
- [11] Müller-Wenk, R. "Land use - The main threat to species. How to include land use in LCA", *IWÖ-Diskussionbeitrag n.64, IWÖ, Universität St. Gallen, Switzerland, 1998.*
- [12] Vogtländer, J.G., Lindeijer, E., Witte, J.P.M., Hendriks, C. "Characterizing the change of land-use based on flora: application for EIA and LCA", *Journal of Cleaner Production*, 12 (2004), pp.47-57.
- [13] Cowell, S.J., Clift, R. "A methodology for assessing soil quantity and quality in life cycle assessment", *Journal of Cleaner Production*, 8 (2000), pp. 321-331.
- [14] Milà i Canals, L. "Contributions to LCA methodology for agricultural systems. Site-dependency and soil degradation impact assessment", *PhD dissertation, Universitat Autònoma de Barcelona, España, 2003.*
- [15] Milà i Canals, L. Romanyà, J., Cowell, S.J. "Method for assessing impacts on lie support functions (LSF) related to the use of 'fertile land' in Life Cycle Assessment (LCA)", *Journal of Cleaner Production* 15 (2007) pp. 1426-1440.
- [16] Cowell, S.J. "Environmental Life Cycle Assessment of agricultural systems: integration into decision making", *PhD dissertation, Centre of Environmental Strategy, University of Surrey, Guildford, UK, 1998.*
- [17] Lindeijer, E. "Biodiversity and life support impacts of land use in LCA", *Journal of Cleaner Production*, 8 (2000), pp. 313-319.
- [18] Mattsson, B., Cedeberg, C., Blix, L. "Agricultural land use in life cycle assessment (LCA): case studies of three vegetables oil crops", *Journal of Cleaner Production*, 8 (2000), pp. 283-292.
- [19] Muys, B., García Quijano, J. "A new method for Land Use Impact Assessment in LCA based on the ecosystem exergy concept", *Internal report, Laboratory for Forest, Nature and Landscape Research, KU Leuven, The Netherlands, 2002.*
- [20] Wagendorp, T., Gulinck, H., Coppin, P., Muys, B. "Land use impact evaluation in life cycle assessment based on ecosystem thermodynamics", *Energy*, 31 (2006), pp. 112-125.
- [21] Kloverpris, J., Wenzel, H., Nielsen, P.H. "Life cycle inventory modelling of land use induced by crop consumption. Part 1: Conceptual analysis and methodological proposal", *International Journal of Life Cycle Assessment* 13 (1) pp. 13-21 (2008).
- [22] van der Voet, E. "Land use in LCA", *CML-SSP Working Paper, Centre of Environmental Science, Leiden University, The Netherlands, 2001.*
- [23] Lindeijer, E., Kok, I., Eggels, P., Alferts, A. "Improving and testing a land use methodology in LCA. Including case-studies on bricks, concrete and wood", *Ed: Dutch*

*Ministry of Transport, Public Works and Water Management (RWS DWW)*, The Netherlands, 2002.

[24] Antón, A., Castells, F., Montero, J.I. "Land use indicators in life cycle assessment. Case study: The environmental impact of Mediterranean greenhouses", *Journal of Cleaner Production*, 15 (2007), pp. 432-438.

[25] Ministerio de Fomento. "Anuario 2004", *Ministerio de Fomento de España*, 2005.

[26] Ley 25/1988, del 29 de julio, de carreteras.

[27] Real decreto 1812/1994, de 2 de septiembre, por el cual se aprueba el Reglamento General de Carreteras.

[28] Ley 16/1987, de 30 de julio, de Ordenación de los Transportes Terrestres.

[29] Real Decreto 1211/1990, de 28 de septiembre, por el cual se aprueba el Reglamento de la Ley de Ordenación de los Transportes Terrestres.

[30] Ley 8/2001, de 12 de julio, de Carreteras de Andalucía.

[31] Ley 8/98, de 17 de diciembre, de Carreteras de Aragón, y del Reglamento de Carreteras de Aragón.

[32] Ley 13/86, de 28 de noviembre, de Ordenación y Defensa de la Carreteras del Principado de Asturias

[33] Ley 5/1990, de 24 de mayo, de Carreteras de la Comunidad Autónoma de la Islas Baleares.

[34] Ley 9/91, de 8 de mayo, de Carreteras de Canarias, y del Reglamento de Carreteras de Canarias.

[35] Ley 5/96, de 17 de diciembre, de Carreteras de Cantabria.

[36] Ley 9/90, de 28 de diciembre, de Carreteras y Caminos de Castilla la Mancha.

[37] Ley 2/90, de 16 de marzo, de Carreteras de la Comunidad de Castilla y León.

[38] Ley 7/93, de 30 de septiembre, de Carreteras de Cataluña, y del Reglamento de Carreteras de Cataluña.

[39] Ley 7/95, de 27 de abril, de Carreteras de Extremadura.

[40] Ley 4/94, de 14 de septiembre, de Carreteras de Galicia.

[41] Ley 2/91, de 7 de marzo, de Carreteras de la Comunidad Autónoma de La Rioja.

[42] Ley 3/91, de 7 de marzo, de Carreteras de la Comunidad de Madrid, y del Reglamento de Carreteras de la Comunidad de Madrid.

[43] Ley 9/90, de 27 de agosto, de Carreteras de la Región de Murcia.

[44] Ley Foral 11/86, de 10 de octubre, de Defensa de las Carreteras de Navarra.

[45] Ley 2/89, de 30 de mayo, Reguladora del Plan General de Carreteras del País Vasco.

[46] Ley 6/91, de 27 de marzo, de Carreteras de la Comunidad Valenciana.

[47] EUROSTAT, datos para Junio de 2006 (disponible en: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>).

[48] EEA. "Are we moving in the right direction? Indicators on transport and environmental integration in the EU: TERM 2000", *Environmental issue report n. 12*, European Environment Agency, 2000.

[49] CORINE Land Cover. "Part 2: Nomenclature", *European Environment Agency*, 2000.

- [50] EEA. "Paving the way for EU enlargement. Indicators for transport and environment integration. TERM 2002", *Environmental issue report n. 32*, European Environment Agency, 2002.
- [51] Spielmann, M., Kägi, T., Tietje, O. "Life cycle inventories of transport services", *Final report ecoinvent n. 14*, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf, Switzerland, 2004.
- [52] Frischknecht, R. "Land occupation and land transformation in life cycle inventories", *Project Manager, ECOINVENT 2000*, SETAC Europe Annual Meeting, Vienna, Austria, 2002.
- [53] Forman, R.T.T., Bissonette, J., Clevenger, A., Cutshall, C., Dale, V., Fahrig, L., Goldman, C., Heanue, K., Jones, J., Sperling, D., Swanson, F., Turrentine, T., Winter, T. "Road ecology: Science and solutions", *Island Press*, Washington, USA, 2002.
- [54] PDSTIB. "Recuperar el transporte público, mejor para todos", *Gobierno de las Islas Baleares, Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transportes*, Plan Director Sectorial de Transportes de la Islas Baleares, Palma de Mallorca, 2002.
- [55] Delgado, J.D., Arévalo, J.R., Fernández-Palacios, J.M. "Consecuencias de la fragmentación viaria: efectos de borde de las carreteras en la laurisilva y el pinar de Tenerife", *Fernández-Palacios, J.M. & Morici, C. (Eds), Ecología Insular / Island ecology, Asociación Española de Ecología Terrestre (AEET) – Cabildo Insular de La Palma*, pp. 181-225, 2004.
- [56] Wackernagel, M., Rees, W. "Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth", *New Society Publishers*, Gabriola Island, BC & Philadelphia, PA, USA, 1995.
- [57] Garraín, D., Vidal, R. "Efectos nocivos sobre la calidad del aire provocados por las carreteras españolas", *Comunicaciones del XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*, pp. 911-921, Lugo (España), 2007.

## Agradecimientos

Este estudio ha sido parte del proyecto "Indicadores de impacto y vulnerabilidad de las infraestructuras de transporte" subvencionado por el Ministerio de Fomento en la convocatoria del XXIV Concurso Público de "Ayudas a la Investigación 2005", sobre temas de infraestructuras (Orden FOM/2376/2005).

## Correspondencia (Para más información contacte con):

Daniel Garraín Cordero.  
GID – Grupo de Ingeniería del Diseño.  
Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I.  
Av. Sos Baynat, s/n. E-12071 Castellón.  
Tel. +34964729252 Fax +34964728106  
e-mail: garrain@uji.es  
URL: <http://www.gid.uji.es>

Rosario Vidal Nadal.  
GID – Grupo de Ingeniería del Diseño.  
Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I.

Vicente Franco García.  
GID – Grupo de Ingeniería del Diseño.  
Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I.