

Nogués Linares, Soledad y Salas Olmedo, Henar (2008): La medición del impacto territorial de las carreteras en áreas periféricas a través del análisis de los usos del suelo. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 370-380. ISBN: 978-84-96971-53-0.

LA MEDICIÓN DEL IMPACTO TERRITORIAL DE LAS CARRETERAS EN ÁREAS PERIFÉRICAS A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE LOS USOS DEL SUELO

Nogués Linares, Soledad y Salas Olmedo, Henar

Universidad de Cantabria. ETSI. Caminos, Canales y Puertos. Dpto. Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio. Avda. Los Castros, s/n. 39005. Santander. soledad.nogues@unican.es, salasmh@unican.es

RESUMEN

Las carreteras generan un impacto territorial que se manifiesta en cambios en los usos del suelo y afecta en mayor medida a los ámbitos en los que el incremento de la accesibilidad es mayor. Esta relación entre transporte y usos del suelo implica que las vías de gran capacidad son un elemento capaz de favorecer o limitar el desarrollo de un área, dependiendo también de la situación socioeconómica y de otros factores. En las áreas periféricas, frecuentemente polarizadas, una nueva vía modifica los usos del suelo, sobretudo en las áreas periurbanas más accesibles, hecho que ha de ser tenido en cuenta en la coordinación de las políticas de planificación urbana/territorial y de transporte. La cuantificación de este proceso se ha visto facilitada en los últimos años por la profusión de fuentes de información cada vez más precisas y elaboradas, lo que permite seguir avanzando en las técnicas de análisis. En esta comunicación, tras una breve introducción al impacto territorial y su relación con las infraestructuras de transporte, se estudiarán las ventajas e inconvenientes de las fuentes de información y se recomendarán aquellos tipos de operaciones SIG que facilitan su análisis y la comparación de resultados.

Palabras Clave: impacto territorial; carreteras; usos del suelo; análisis SIG; áreas periféricas.

ABSTRACT

Land use changes related to the spatial impacts of roads are larger in those places with a higher increase in accessibility. The transport and land-use connection implies that high capacity roads are able to favour or limit the development of an area, which also depends on its socioeconomic situation and other factors. In peripheral areas, frequently polarized, a new road has a greater impact on land uses over the most accessible urban fringes. This fact needs to be incorporated in an integrated planning policy of land use and transport. New and more precise and elaborated data sources developed recently help quantifying this process, but more research is needed in relation to the techniques used in the analysis. This paper, after a short introduction to the relationship between spatial impact and transport infrastructures, studies the advantages and disadvantages of modern data sources. Finally, some GIS tools will be recommended in order to favour the spatial analysis and comparisons.

Key Words: spatial impact; roads; land use, GIS analysis; peripheral areas.

APROXIMACIÓN TEÓRICA

Se puede definir el *impacto* como la alteración significativa, bien sea de signo favorable o desfavorable, que se produce sobre el medio como consecuencia de la acción humana (Gómez Orea, 1988; André et al., 2003, entre otros). Trasponiendo este concepto comúnmente utilizado, se entiende por *impacto territorial* de las carreteras los efectos positivos o negativos de cierta magnitud inducidos por la construcción o mejora de las redes de carreteras sobre la distribución espacial de la población, la localización de las actividades y el sistema de asentamientos, cuyos cambios entrañan alteraciones en los usos del suelo, que constituyen la plasmación espacial del impacto territorial.

Como elemento vertebrador del territorio, las carreteras han sido consideradas tradicionalmente como un factor fundamental del desarrollo de las regiones, sin embargo, como señalan numerosos autores lo verdaderamente difícil es discernir qué impactos se deben a la propia infraestructura de transporte y cuáles se derivan de otros factores de índole geográfica, social, económica... capaces de potenciar, minimizar e incluso cambiar de signo los efectos de estas vías.

A este respecto, cabe preguntarse sobre la relación causa-efecto entre transporte y usos del suelo, en tanto éstos reflejan la distribución espacial de la población, los asentamientos y las actividades, así como sobre la magnitud de tales efectos.

En cuanto a la relación de causalidad, el ciclo del transporte y los usos de suelo, expuesto a mediados del siglo XX, supuso una aportación fundamental para comprender la complejidad del problema, al incorporar el concepto de accesibilidad (Wegener, 1995), cuya distribución en el espacio co-determina, junto con otros factores externos, las decisiones de localización, dando lugar a cambios en los usos del suelo.

Sin embargo, a partir de los años noventa, comienza a cuestionarse la solidez de esta relación, abriéndose un debate sobre la vigencia o, por el contrario, la debilidad de esta influencia recíproca (Cervero y Landis (1995) *versus* Giuliano (1995)). En este sentido, algunos autores (Banister, 1995) consideran a las infraestructuras de transporte como un factor secundario en las decisiones de localización de las empresas en las economías desarrolladas. En la misma línea, de las aportaciones de Holl (2004), entre otros autores, podemos deducir que tanto esta relación como el alcance y magnitud del impacto difiere según se trate de un área central o periférica. La clave para que una infraestructura de transporte tenga un efecto sobre el territorio sobre el que discurre es el aumento de accesibilidad que proporciona -además de la existencia de otros estímulos al desarrollo-. Es decir, el impacto no será muy elevado en zonas que ya poseen un alto grado de accesibilidad (zonas centrales), ni donde la accesibilidad sea muy baja (zonas muy periféricas), pero sí en aquellas zonas que, poseyendo una red de transporte que haya permitido un cierto desarrollo, se mejore sustancialmente, ampliando las conexiones ya existentes.

En el contexto español, las regiones periféricas -como es el caso del Área Noroeste-, se caracterizan por la escasa densidad de infraestructuras que revierte en una baja accesibilidad, la fragilidad de la economía, la debilidad de los recursos humanos, y el desequilibrio territorial interno. En los últimos años, la construcción de nuevas carreteras, especialmente de vías de gran capacidad, ha hecho que se hayan aproximado los indicadores de desarrollo entre las áreas centrales de las aglomeraciones urbanas y sus áreas de influencia, pero se ha abierto una brecha mayor respecto a los espacios rurales más profundos. En este proceso, las áreas periurbanas son las que han experimentado un impacto más positivo configurándose como las zonas más dinámicas del sistema territorial: han mejorando notablemente su accesibilidad, aumentado su población e incrementado sus rentas, al constituirse en receptoras de la descentralización de población y actividades desde los nodos centrales, lo que se ha traducido en importantes cambios en los usos del suelo.

Tras esta aproximación de carácter teórico, se exponen a continuación las fuentes de información y las técnicas para medir el impacto territorial de las carreteras a través del análisis de los usos del suelo, haciendo especial hincapié en aquellas que pueden resultar especialmente útiles en áreas periféricas.

LAS FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de información disponibles para analizar los usos del suelo, centrándonos básicamente en el ámbito español, responden a tres tipos de datos: por un lado, las ortofotografías, incluyendo tanto las fotografías provenientes de vuelos aéreos como las imágenes de satélite; por otro lado, la cartografía de usos de suelo, derivada en gran parte de la fuente anterior; y por último las fuentes estadísticas, como son los censos oficiales u otras fuentes de información.

Además de incrementar la producción de información, y del avance de las aplicaciones software para su procesamiento y posterior análisis, también se han desarrollado herramientas para facilitar y estandarizar el acceso a la información cartográfica, siendo las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDEs) el principal exponente. Estos servicios, que permiten el acceso a la información espacial vía Web y a través del software SIG (me-

dianter servidores WMS), han sido desarrollados por entidades administrativas de diferentes niveles, haciendo necesaria la creación de catálogos en línea y de portales que agrupen esta información.

Las ortofotografías

La primera serie de fotografías aéreas del territorio español de forma continua es la correspondiente al vuelo americano (1956-57). Este tipo de fotografías, una vez ortorectificadas y georreferenciadas, permiten actualizar la cartografía básica y constituyen el punto de partida para estudiar la evolución de la cobertura/ usos del suelo, debido a que se trata de la primera fuente fiable que cubre todo el territorio y que tiene una resolución espacial adecuada. De hecho, son muy numerosos los estudios que la utilizan como fuente desde diferentes perspectivas: medioambiental, agraria, urbana, etc.

Posteriormente organismos de ámbito estatal han realizado vuelos que cubren todo el territorio nacional, como el IGN en 1999 (escala 1:10.000) o el proyecto SIGPAC (2002). También las comunidades autónomas han realizado vuelos con la finalidad de obtener cartografía de detalle (1:5.000 - 1:10.000).

El proyecto más reciente, en desarrollo de la directiva INSPIRE de la Unión Europea, es el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), en el que el IGN y las CC.AA. colaboran para actualizar y dar acceso a las fotografías aéreas de todo el territorio. El PNOA, cuya ejecución comenzó en 2004, tiene como objetivo generar ortofotografía aérea y un modelo digital del terreno con una elevada resolución espacial (0,5 m.) y actualización cada dos años (IGN, 2004). En cumplimiento de la Orden *FOM/956/2008*, la IDEE ofrece las ortofotografías actualizadas del PNOA en su portal Web y a través del servidor WMS, aunque no la serie temporal.

A pesar de las múltiples ventajas que ofrecen las fotografías aéreas, lo cierto es que su elevado coste, tanto de generación como de procesamiento para su difusión, hacen que el periodo de actualización sea demasiado largo, de ahí que las imágenes de satélite sean el producto que poco a poco están sustituyéndolas, si bien las fotografías aéreas tienen características, como la ausencia de nubosidad o la elevada resolución espacial, que las hacen un complemento fundamental, sobre todo en relación con las imágenes satelitales más antiguas.

La primera serie de satélites que ofrece imágenes de todo el planeta a una escala media (1:200.000-1:100.000) son los Landsat, que comienzan su andadura en los años 1970. Desde entonces tanto estos satélites como los de otras iniciativas han mejorado sensiblemente la resolución espacial, espectral y temporal de las imágenes, aunque también ha aumentado su precio. En la siguiente tabla, que recoge las principales características de los satélites con sensores ópticos, puede verse esta evolución.

Tabla 1. Imágenes ópticas satelitales para analizar los usos del suelo.

| Año lanzamiento | Nombre satélite | Res. espectral * | Res. espacial (orto) | Disponibilidad (productos ortorectificados) |
|-----------------|-----------------|------------------|----------------------|--|
| 1972 | Landsat MSS | M | 60 m | Descarga libre. (GLCF. ESDI.) |
| 1984 | Landsat TM | M | 30 m | Descarga libre. (GLCF. ESDI.) |
| 1986 | SPOT | M | 20 m | Mitad sur peninsular y Baleares en servidor WMS (IDEE). 0,69 €/km ² aprox. (SPOT Image). |
| | | P | 10 m | |
| 1988 | IRS | M | 5 m | \$0,80 / km ² aprox. (Land Info). |
| | | P | 5 m | \$0,80 / km ² aprox. (Land Info). |
| 1999 | Landsat ETM | M | 30 m | Descarga libre. (GLCF. ESDI.) Año 2000. Descarga libre (JRC) |
| | | P | 15 m | Descarga libre. (GLCF. ESDI.) Año 2000. Descarga libre (JRC) |
| 2000 | IKONOS | M | 4 m | \$30 / km ² aprox (European Space Imaging). |
| | | P | 1 m | \$30 / km ² aprox (European Space Imaging). |
| 2000 | KOMPSAT-1 y 2 | M | 4 m | Libre en Internet previo registro como “Categoría 1” (investigación) en la Agencia Espacial Europea (ESA). |
| | | P | 1 m | |
| 2001 | Quickbird | M | 2,4 - 2,8 m | \$16 – \$21 / km ² (GeoServe). |

| Año lanzamiento | Nombre satélite | Res. espectral * | Res. espacial (orto) | Disponibilidad (productos ortorectificados) |
|-----------------|-----------------|------------------|----------------------|---|
| | | P | 0,6 - 0,7 m | \$16 - \$21 / km ² (GeoServe). |
| 2001 | PROBA | M | 20 m | Libre en Internet previo registro como "Categoría 1" (investigación) en la Agencia Espacial Europea (ESA). Para uso comercial también puede consultarse el precio en la página de la ESA. |
| | | P | 5 m | |
| 2003 | IRS-P6 | M | 5,8 m | |
| 2006 | ALOS | M | 10 m | |
| | | P | 2,5 m | |

* Nota: M: multispectral. P: pancromático.

Fuente: EP. a partir de: Molina (2005); Telespazio, www.telespazio.it; Global Land Cover Facility, www.landcover.org; SPOT Image, www.spotimage.fr; IDEE, www.idee.es; JRC Image 2000 & Corine Land Cover 2000, image2000.jrc.it; Land Info www.landinfo.com/IRS.htm; Agencia Espacial Europea, www.esa.int; European Space Imaging, www.euspaceimaging.com; Geoserve, www.geoserve.nl/.

El estudio de la evolución de usos del suelo exige la disponibilidad de una serie que cubra un periodo amplio, puesto que los cambios en los usos del suelo se producen a lo largo de varios años desde que se proyecta o construye una carretera. Sin embargo las imágenes de satélite de gran resolución espacial aún no cumplen este requisito, por lo que las procedentes de satélites Landsat -de libre disposición-, SPOT o IRS-relativamente baratas- son las de uso más corriente. A menudo se complementa la insuficiente resolución espacial para discriminar determinados usos con imágenes del satélite IKONOS o con fotografías aéreas.

Uno de los principales inconvenientes de las imágenes de satélite es la cobertura nubosa. La solución a este problema ha venido por dos vías diferentes: por un lado gracias al aumento de la resolución temporal de los satélites más jóvenes, y por otro lado con la mejora de la resolución espacial de los sensores radar. En efecto, si bien las imágenes procedentes de radar tradicionalmente no han sido aptas para la caracterización del espacio urbano, especialmente en las ciudades europeas, por su alta densidad de edificios y estructura irregular (Dell'aqua y Gamba, 2001), los satélites lanzados recientemente incorporan sensores que superan la resolución espacial de sus predecesores. En la siguiente tabla se presentan las principales características y disponibilidad de las imágenes de radar.

Tabla 2. Principales características de las imágenes satelitales radar.

| Año lanzamiento | Nombre satélite | Banda | Resolución espacial (orto) | Disponibilidad (producto con mayor precisión) |
|-----------------|-----------------|--------------------|----------------------------|--|
| 1991 | ERS | Banda C | 25 m | 0,03€ / km ² (Spot Image). |
| 1995 | RADARSAT - 1 | Banda C | 8 - 25 - 30 m | \$CAD 1,8 - 0,45 - 0,20 / km ² Anterior a 2001: \$CAD 0,60 - 0,15 - 0,06 / km ² (MDA) |
| 2002 | ENVISAT | Banda C | 25 m | 0,05€ / km ² (Spot Image). |
| 2006 | ALOS | Banda L | 10 - 100 m | 50€ - 75€ / escena (Registro como Categoría 1. ESA). |
| 2007 | TerraSAR-X | Banda X | 1 - 3 - 16 m | 67,5€ - 1,75€ - 0,12€ / km ² (Spot Image). |
| 2007 | RADARSAT - 2 | Banda C | 3 - 8 - 25 - 30 m | \$CAD 15,75 - 1,8 - 0,45 - 0,20 / km ² (MDA). |
| 2007 | COSMO/SkyMed | Bandas C, D, X y S | 1 - 100 m | Disponible a partir de verano de 2008 (e-GEOS). |

Fuente: EP. a partir de: e-GEOS COSMO-SkyMed, www.e-geos.it; SPOT Image, www.spotimage.fr; Agencia Espacial Europea, www.esa.int; MDA Information Products, www.mdacorporation.com

Todas estas fuentes de información permiten la clasificación de los usos del suelo y el análisis de su evolución temporal. Esta clasificación puede realizarse mediante digitalización manual a partir de las diferencias texturales de la imagen, o mediante el análisis automatizado, supervisado o no, de píxeles con programas de trata-

miento de imágenes compatibles con software SIG. En cualquier caso, se debe contar con información auxiliar, como diversos tipos de imágenes y fuentes cartográficas (mapas topográficos, catastro, cultivos y aprovechamientos, etc.).

La cartografía de usos del suelo

En ocasiones, por motivos de tiempo, de presupuesto o metodológicos (para facilitar la comparación con otros estudios) es preferible optar por la utilización de cartografía de usos del suelo elaborada por organismos oficiales. Las principales ventajas de esta fuente de información son que se trata de productos estandarizados, con programas de actualización y elaborados con una metodología robusta.

El proyecto europeo más destacado es el Corine Land Cover (CLC), desarrollado a partir de la Agencia Medioambiental Europea (EEA en sus siglas en inglés), cuyo objetivo es clasificar el suelo europeo en función de su cubierta. Hay que destacar que la categoría de “superficies artificiales” discrimina diferentes usos urbanos en los niveles 2 y 3 de la jerarquía. Además, la metodología prevé una desagregación incluso mayor en cada país de acuerdo a sus características propias, de modo que en el caso de España se añaden algunas categorías en el nivel 5. Concretamente, dentro de las “superficies artificiales”, donde se integran los usos urbanos, se añaden las siguientes categorías (en *cursiva*):

- 1.1.2. Tejido urbano discontinuo
 - 1.1.2.1. *Estructura urbana laxa*
 - 1.1.2.2. *Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas*
- 1.2.2. Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados
 - 1.2.2.1. *Autopistas, autovías y terrenos asociados*
 - 1.2.2.2. *Complejos ferroviarios*

La clasificación completa puede consultarse en Del Bosque et al. (2004: 3), y el nivel 5 de la leyenda en España está disponible a través de la aplicación habilitada por el IGN (visor Web y servidor WMS).

Son numerosas las investigaciones que utilizan la base de datos del CLC como base, a menudo en conjunción con otras fuentes, para el análisis de múltiples factores espaciales, como los hábitats, los incendios, las islas de calor, la expansión urbana (Meinel et al., 2005; Simón y Hernández, 2008), etc.

Las limitaciones del CLC para el análisis de los usos del suelo tienen que ver con la resolución espacio-temporal: escala del producto 1:100.000, actualización inicial cada diez años (reducida a 6 años en la actualidad) y unidad mínima cartografiada 25 Ha. (5 Ha. para los cambios de superficie continua entre 1990 y 2000). Estas características hacen del CLC una fuente adecuada para estudios a escala regional o superior, pero en proyectos de escala intrarregional o local se hace necesaria una precisión mayor.

En este sentido, y con el objetivo de integrar las diferentes bases de datos sobre ocupación del suelo que existen en España, el IGN coordina la elaboración del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España (SIOSE) apoyándose en la red EIONET (entidad asociada de la EEA encargada de asistir la colección y organización de la información y su desarrollo y difusión). Concretamente, el SIOSE consiste en una base de datos geográfica en la que, cumpliendo con los estándares del OGC y de las normas ISO, se están cartografiando los usos del suelo a escala 1:25.000 a partir de imágenes SPOT y Landsat TM complementadas con las ortofotos del PNOA. La frecuencia de actualización es cada 5 años y las unidades mínimas cartografiadas varían entre 0,5 y 2 Ha. según el tipo de uso.

Además de las ventajas antes señaladas, es de destacar que la clasificación de usos que establece el CLC sirve de referencia para los trabajos que requieren la elaboración de mapas propios bien porque la resolución espacial no sea la adecuada (Serrano et al., 2006) o bien porque se quiera ampliar el periodo de estudio, hasta donde permiten las imágenes satélite, y el ámbito espacial, como en el proyecto Lacoast (Ezquerria et al., 1998).

Las fuentes de datos estadísticas

Para conseguir análisis que se aproximen más a la realidad territorial es frecuente la combinación de información geográfica (imágenes o mapas) con información estadística (ej. Wassmer, 2000; Song y Knaap, 2004). En esta comunicación nos vamos a centrar en los datos ofrecidos por el Instituto Nacional de Estadística (INE) por ser el órgano estadístico de referencia que cubre todo el territorio estatal de forma homogénea.

Los Censos de población y vivienda constituyen la serie estadística más completa del INE, en tanto forman parte de una serie a nivel municipal que se inicia en 1900 y se actualiza cada 10 años. De forma complementaria, el Nomenclátor recoge desde 1858 el número de habitantes y de viviendas de cada entidad de población. Por otra parte, con datos agregados por municipios y periodicidad decenal, el Censo agrario, iniciado en 1962, también es una serie estadística de referencia.

La IDEE incorpora la base cartográfica del INE, mientras que gran parte de la información alfanumérica puede descargarse desde la página Web del INE, concretamente la información referente a los Censos de población (excepto el de 1981, que sólo está disponible en formato papel), el Nomenclátor desde el año 2000 (sólo población) y el Censo agrario desde 1999. Esto implica que es necesario contar con software SIG para integrar ambos tipos de datos.

A lo largo del siglo XX los sucesivos Censos de población se han complementado con información referente a las viviendas, a la actividad de las personas según el municipio de residencia y, de forma más reciente, a la actividad de los locales o centros de trabajo de cada municipio. También se ha incrementado el nivel de detalle, de modo que en el último Censo (2001) está disponible toda la información por distritos y secciones censales.

Dentro de las múltiples variables que ofrecen las fuentes mencionadas hemos seleccionado las más adecuadas para estudiar el impacto territorial.

La población de derecho está disponible a escala municipal en los censos de población desde 1960. El estudio de esta variable permite conocer si la distribución espacial de la población está relacionada con la accesibilidad, y si su dispersión es donde la densidad de la red de carreteras le proporciona una accesibilidad más elevada. El Nomenclátor es una fuente complementaria de gran utilidad en territorios con muchos núcleos de población y especialmente si la escala de trabajo es infrarregional.

Por otro lado, la población ocupada por sectores de actividad, que hace referencia al número de personas que trabajan en cada sector, está disponible a partir del Censo de población y viviendas de 1991. El objetivo es determinar si los centros de actividad se localizan en las áreas más accesibles o que más incrementan su accesibilidad. Sin embargo, la localización de la población ocupada se refiere al municipio de residencia, lo que no se corresponde necesariamente con la de los centros de trabajo, especialmente en aglomeraciones urbanas con importantes desplazamientos residencia-trabajo entre municipios cercanos. Afortunadamente el censo de 2001 incorpora dos nuevas variables relacionadas con el empleo que deben de ser tenidas en cuenta: el número de locales y el número de trabajadores por tipo de actividad, ambos datos referidos al municipio en que se ejerce la actividad.

La información del número de viviendas está disponible a escala municipal en todos los censos de población y viviendas y a escala de núcleo en los Nomenclátor. Esta variable nos ofrece información sobre la distribución de la oferta de viviendas, y permite por tanto analizar si el crecimiento urbano residencial es más relevante en las zonas más accesibles o que más accesibilidad ganan con la construcción de una nueva vía.

Por otra parte, el Censo agrario ofrece información relevante referida al sector primario, que debe ser analizada especialmente en áreas donde este sector tiene un marcado significado en la estructura económica como ocurre frecuentemente en las áreas periféricas. Las variables más relevantes a analizar son el número de explotaciones y la Superficie Agraria Útil (SAU), puesto que permiten observar si la tendencia es hacia la concentración en explotaciones de tamaño cada vez mayor, o si por el contrario se trata de una actividad estancada.

Los datos obtenidos de los Censos pueden complementarse con otras fuentes, como el Padrón de habitantes, actualizado anualmente, u otras de ámbito regional o local que contengan datos de interés, como las licencias municipales o las licencias fiscales recogidas en los Anuarios Económicos de algunas CC.AA.

TÉCNICAS PARA MEDIR EL IMPACTO TERRITORIAL EN ÁREAS PERIFÉRICAS

Con el objetivo de combinar eficientemente la información espacial y estadística, para después aplicar técnicas de análisis espacial, trataremos de asignar de la mejor manera posible, teniendo en cuenta los diferentes orígenes y formatos, la información estadística, relevante por cuanto permite cuantificar los procesos territoriales, con la información espacial, que muestra la dimensión espacial de dichos procesos. Vamos a dejar aparte el proceso de digitalización de las imágenes aéreas o de satélite ya que existe abundante literatura científica que evalúa diferentes métodos (por ejemplo, Baraldi y Parmiaggiani, 1990; Mundia y Aniya, 2005 o Steiniger et al., 2008) y nos vamos a centrar en la integración de la información una vez que ha sido procesada y está preparada para el análisis en un entorno SIG.

La metodología que describimos a continuación se basa en la experiencia adquirida en las investigaciones realizadas sobre el impacto de las carreteras en el área noroeste de España, y se refiere a la escala regional e intrarregional. Parte de la información estadística existente en la actualidad, siendo conscientes de que hasta dentro de unos años no habrá una serie consistente que permita analizar la evolución. De manera esquemática, los pasos previos al análisis multivariable SIG propiamente dicho, con el objetivo de solventar el problema de la unidad espacial modificable (PUEM), serían los siguientes:

1. Definir el hábitat humano, es decir, excluir, con ayuda de un MDT y de imágenes aéreas o de satélite, las zonas no habitables (por ejemplo las de alta montaña). Los resultados del análisis están influidos por el tamaño del área de estudio en relación con el del hábitat (Bachi, 1999).
2. Adaptar el CLC a la escala espacio-temporal de trabajo apoyándose en imágenes aéreas o de satélite, cartografía auxiliar y trabajo de campo, según la escala. Delimitar las entidades de población y seleccionar las categorías más significativas.
3. Asignar a cada núcleo la población y viviendas que le corresponde según el Nomenclátor.
4. Asignar a cada núcleo los locales y población que trabaja en el mismo. Si no existe el dato se puede estimar, por ejemplo, a partir del peso poblacional de cada núcleo en el municipio (en municipios urbanos los datos por secciones censales ayudarán a ser más precisos). Hay que ser consciente de las imprecisiones que acarrea este paso.
5. Transformar las capas de información en formato raster, adaptando el tamaño de píxel a la escala y nivel de detalle del estudio y asignar los valores correspondientes a cada píxel para cada variable:
 - Distribuir el valor del núcleo entre las celdas que lo integran, para lo que es necesario establecer un criterio previo respecto a las celdas de los bordes.
 - Distribuir la población diseminada entre las celdas del hábitat que no pertenecen a núcleo.

Llegado a este punto debe plantearse qué indicadores pueden utilizarse en las áreas periféricas. Hay que tener en cuenta que de manera general estas áreas cuentan con una red de carreteras polarizada y con un considerable retraso en su desarrollo, que es consecuencia, y a la vez fomenta, no solo la propia periféricidad del área, sino el desequilibrio territorial característico de estas áreas, en forma de polarización de la población, de los asentamientos y de las actividades en torno al espacio que más accesibilidad ha acumulado, y dejando grandes vacíos en las zonas menos accesibles de la región. La existencia de estos dos tipos de espacios, separados por diferentes áreas de transición, justifica la necesidad de abordar la medida del impacto de las carreteras sobre el territorio desde la escala local, puesto que el comportamiento territorial será diferente en función del tipo de espacio de que se trate.

A la limitación impuesta por la disponibilidad de información hay que añadir que en la literatura científica no se han desarrollado indicadores específicos para medir el impacto territorial de las carreteras, y tampoco índices o técnicas especialmente diseñadas para analizar las áreas periféricas, por lo que a continuación se expone una selección de los indicadores que resultan particularmente útiles para definir las características de estas áreas.

En primer lugar, el análisis de los centros medios ponderados de diferentes variables complementado con la lectura de bibliografía general sobre el área de estudio permite obtener una visión global de las principales tendencias de la localización de la población y actividades del área de estudio, que ayudará considerablemente a

interpretar los indicadores de carácter local, que se adentran en las diferencias internas de la región y que se proponen en los siguientes párrafos.

Profundizando en el análisis espacial, de las múltiples técnicas existentes cabe mencionar que las de mayor difusión reciente son las referentes al análisis del patrón de distribución espacial, a la autocorrelación espacial y al análisis de los usos del suelo, si bien cada una tiene sus propias limitaciones que hacen recomendable su combinación.

Dentro de las diferentes opciones disponibles en el análisis del patrón de distribución espacial, se ha seleccionado la estimación de kernel (Bailey y Gatrell, 1995) porque en la elaboración del resultado cartográfico, para calcular el valor de cada celda o píxel, se tiene en cuenta el valor propio y los de las celdas vecinas. Los mapas resultantes permiten visualizar fácilmente la dirección de las áreas de mayor intensidad del fenómeno estudiado.

Como complemento, se ha elegido la representación de la autocorrelación espacial utilizando el índice $G_i^*(d)$ desarrollado por Getis y Ord (1992). Se ha seleccionado este indicador por ser especialmente útil para mostrar la asociación de valores altos y bajos en relación con las características de las áreas periféricas. Como el indicador anterior, tiene en cuenta el valor del punto que esté analizando y el de los vecinos. La relación de la localización de la variable estudiada con las zonas de mayor densidad y jerarquía de la red de carreteras se observa fácilmente al aplicar una graduación de colores desde los tonos fríos a los cálidos, siendo éstos últimos los que indican una mayor autocorrelación espacial positiva. Para la comparación entre diferentes ámbitos de estudio pueden utilizarse indicadores globales de autocorrelación espacial (coeficiente de Moran, ratio de Geary y test G).

Por otra parte, para analizar la evolución de la red de asentamientos, puede utilizarse la regla rango-tamaño que, en base a la variable población, permite establecer la jerarquía de los núcleos urbanos. Un cambio en esta estructura jerárquica antes y después de la construcción de una vía de gran capacidad implicaría un fuerte impacto sobre las relaciones territoriales del ámbito de estudio.

Finalmente, la utilización de la cartografía de usos del suelo permite conocer con precisión dónde se ha desarrollado suelo urbano residencial y productivo, y deducir qué lugares serán más susceptibles de experimentar un desarrollo similar. La utilización de un SIG permite la contabilización de la expansión del suelo urbano que se haya producido en un radio de, por ejemplo, 3,5 y 5 km. de las vías de gran capacidad, y su relación con la superficie desarrollada fuera de los corredores definidos.

La combinación de estos indicadores permite valorar la relación existente entre la red de carreteras y el territorio, y su comparación en diferentes momentos temporales o con otros espacios periféricos. Un territorio será más dependiente de la red de carreteras cuanto más desplazados estén sus centros ponderados de población, actividades y vivienda hacia la zona de mayor densidad de red respecto al centro geográfico, será más desequilibrado cuanto mayor diferencia haya entre la densidad de los fenómenos estudiados en el entorno de las carreteras respecto a las zonas menos accesibles, cuanto mayores sean los valores de autocorrelación espacial en los municipios mejor comunicados por carretera, cuanto más destaque el núcleo o los núcleos mejor conectados sobre los demás en la jerarquía urbana y cuanto más diferencia haya entre la superficie desarrollada en el periodo analizado en el entorno de las vías de gran capacidad respecto al resto del territorio. En los espacios donde estos valores sean elevados, el impacto de una nueva carretera sobre el territorio será mayor y, según donde se localice, fomentará la polarización o el equilibrio territorial.

Además de los indicadores señalados, la información de los mapas temáticos de usos del suelo puede analizarse también por procedimientos como los descritos por Gustafson en 1998, quien define varios métodos para medir el patrón espacial de estos mapas: la composición, configuración espacial, índices de vecindad y *lagunaridad*. Ésta última es una línea de investigación recuperada recientemente (ej. Escolano, 2007) en la que, junto al estudio de métodos fractales (Herold et al., 2002), sería conveniente profundizar.

CONCLUSIONES

Para obtener una visión global del impacto territorial que genera una vía de comunicación es preciso combinar diferentes fuentes de información y herramientas de análisis.

El impacto territorial de las carreteras es diferente en función del tipo de área por el que discurra, hecho que es particularmente destacable en las áreas periféricas debido a su estructura polarizada. En este sentido, las técnicas de análisis SIG que resultan más apropiadas son aquellas que permiten una mejor discriminación entre los valores altos y bajos y su distribución espacial.

Finalmente, queremos destacar que en los últimos años no sólo se han incrementado y mejorado las fuentes de información para el análisis espacial, sino que se están invirtiendo muchos esfuerzos en facilitar su difusión. El reto ahora es disponer de series temporales completas y homogéneas de las diferentes variables y datos geográficos que permitan seguir avanzando en esta línea de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo recoge parte de los resultados del proyecto de investigación “Una metodología para evaluar los efectos de las redes de carreteras en áreas periféricas” financiado por Mº de Fomento, Convocatoria I+D Transportes (T25/2006).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- André, P.; Delisle, C. E. y Revéret, J-P. (2003): *L'évaluation des impacts sur l'environnement. Processus, acteurs et pratique pour un développement durable*. 2ª ed. École Polytechnique de Montréal, Montreal, 519 pp.
- Bachi, R. (1999): *New methods of geostatistical analysis and graphical presentation. Distributions of populations over territories*. Kluwer Academics / Plenum Publishers, New York, 478 pp.
- Bailey, T. C. y Gatrell, A. C. (1995): *Interactive spatial data analysis*. Prentice Hall. Pearson Education, Harlow (Inglaterra), 413 pp.
- Banister, D. (Ed.) (1995): *Transport and Urban Development*. E & FN Spon, Londres, 294 pp.
- Baraldi, A. y Parmiggiani, F. (1990): Urban area classification by multispectral SPOT images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing*, 28 (4): 674-680.
- Cervero, R. y Landis, J. (1995): The transportation-land use connection still matters. *Access*, 7: 2-10.
- Del Bosque González, I.; Arozamena Villar, A.; Villa Alcázar, G. y Porcuna Fdez-Monasterio, A. (2004): Actualización de la Base de Datos CORINE LAND COVER. “PROYECTO I&CLC2000”. *VIII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía TOPCART 2004*, pp. 1-18.
- Dell'aqua, F. y Gamba, P. (2001): Evaluation of COSMO/SkyMed SAR data for urbana rea characterization. *IEEE/ISPRS Joint Workshop on remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas*, pp. 141-144.
- Escolano Utrilla, S. (2007): La medida de la segregación residencial urbana: análisis multiescala mediante índices de lagunaridad. *GeoFocus (Artículos)*, 7: 216-234.

- Ezquerria Canalejo, A.; Moreno Cuesta, E. y Urbano López de Meneses, J. (1998): Proyecto Lacoast. Cambios en la cobertura del suelo en las costas europeas. *Observatorio medioambiental*, 1: 201-219.
- Getis, A. y Ord, J. K. (1992): The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis*, 24: 189-206.
- Giuliano, G. (1995): The weakening transportation-land use connection. *Access*, 6: 3-11.
- Gómez Orea, D. (1988): Evaluación de impacto ambiental (EIA). *Ciudad y territorio*, 75: 5-32.
- Gustafson, E.J. (1998): Quantifying landscape spatial pattern: what is the estate of the art?. *Ecosystems*, 1: 143-156.
- Holl, A. (2004): Manufacturing location and impacts of road transport infrastructure: empirical evidence from Spain. *Regional Science and Urban Economics*, 34: 341-363.
- IGN. (2004): Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. *Boletín informativo del Instituto Geográfico Nacional*, 17: 4-5.
- Meinel, G. y Winkler, M. (2005): Long-term investigation of urban sprawl on the basis of remote sensing data. Results of an international city comparison. *24th Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSL)*, Dubrovnik, Croacia, pp. 653-661.
- Molina M., G.Z. (2005): Propuesta metodológica para estudios de dinámica de uso urbano utilizando la teledetección: Maracay, estado Aragua-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 46 (2): 195-234.
- Mundia, C.N. y Aniya, M. (2005): Analysis of land use/cover changes and urban expansion of Nairobi city using remote sensing and GIS. *International Journal of Remote Sensing*, 26 (13): 2831-2849.
- ORDEN FOM/956/2008, de 31 de marzo, por la que se aprueba la política de difusión pública de la información geográfica generada por la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional. *Boletín Oficial del Estado*, 85: 19138-19140.
- Serrano, M. M.; Gago, C. y Antón, F.C. (2006): *Impacto territorial de las carreteras orbitales en la Comunidad de Madrid*. Compañía Española de Reprografía y Servicios, Madrid, 233 pp.
- Simón Rojo, M. y Hernández Aja, A. (2008): Relaciones entre el cambio de modelo urbano-territorial y consumo de suelo en los municipios españoles. *I Congreso Urbanismo y Ordenación del Territorio "Ciudad y Territorio"*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (CD-Rom), pp. 1-19.
- Song, Y. y Knaap, G-J. (2004): Measuring urban form. *Journal of the American Planning Association*, 70 (2): 210-225.
- Steiniger, S.; Lange, T.; Burghardt, D. y Weibel, R. (2008): An approach for the classification of urban building structures based on discriminant analysis techniques. *Transactions in GIS*, 12 (1): 31-59.

Wassmer, R.W. (2000): Urban sprawl in a U.S. Metropolitan Area: Ways to measure and a comparison of the Sacramento area to similar metropolitan areas in California and the U.S. *Working paper WP00RW1*, Lincoln Institute of Land Policy, 18 pp.

Wegener, M. (1995): Accessibility and development impacts. En: Banister, D. (Ed.), *Transport and urban development*. E&FN Spon, Londres, pp. 157-161.