

Medida y valoración de la accesibilidad viaria en España: revisión de casos

Carlos LÓPEZ-ESCOLANO (1) & Ángel PUEYO CAMPOS (2)

- (1) Profesor Asociado de Geografía Humana, Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza
(2) Profesor Titular de Geografía Humana, Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza

RESUMEN: La cuantificación de los efectos que producen las infraestructuras de transporte en el territorio es un tema de investigación fundamental, realizado habitualmente mediante medidas e indicadores de accesibilidad. Asimismo, estas se configuran como una herramienta básica para la evaluación y comparación de los distintos escenarios que proponen los planes de infraestructuras o la valoración de las redes de transporte. Este trabajo aporta una revisión comparativa de los principales estudios que han valorado y representado la accesibilidad en la España peninsular. Para ello, se han analizado siete propuestas metodológicas que han valorado la accesibilidad de la red de carreteras, aunque también se presentan algunas opciones mixtas con modelos que integran el ferrocarril. En esta revisión se han comparado los enfoques de análisis, modelos de cálculo y resultados cartográficos obtenidos en cada caso. Las principales conclusiones de esta investigación indican que a pesar de los diferentes enfoques existentes en la evaluación de la accesibilidad, los resultados muestran una coincidencia en la delimitación espacial de áreas con adecuada o negativa accesibilidad, aunque se han hallado algunas diferencias locales o regionales. Finalmente, cabe indicar la evolución de la calidad de los indicadores de accesibilidad gracias a la mayor disponibilidad de información y uso de las Tecnologías de la Información Geográfica.

DESCRIPTORES: Accesibilidad. Red viaria. Cartografía. España.

Measurement and assessment of road accessibility in Spain: review of cases studies

ABSTRACT: The quantification of the effects that transport infrastructure produces in the territory is a key research topic, usually carried out through measures and accessibility

Recibido: 19.09.2017; Revisado: 17.04.2018

Correo electrónico: cle@unizar.es; apueyo@unizar.es Nº ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1653-7780>;
<https://orcid.org/0000-0003-4103-2116>

Los autores agradecen los comentarios y sugerencias realizados por los evaluadores anónimos, que han contribuido a mejorar y enriquecer el manuscrito original.

indicators. Additionally, these are basic tools for the assessment and comparison of the different scenarios proposed by the infrastructure plans and transport networks. This research provides a comparative review of the principal studies that have assessed and represented accessibility in mainland Spain. For that purpose, seven methodological proposals have been analyzed that have assessed accessibility to road network, although some mixed options are also presented. In this review, some aspects of accessibility have been compared: approaches, measures and cartographic results. The main findings of this research highlight that despite the different accessibility assessment approaches existing, the results revealed an overlap of spatial delimitations of areas with adequate or negative accessibility values. Nevertheless, local or regional differences have been found. Finally, the quality of accessibility indicators has improved during the last years thanks to the greater availability of information and the massive use of Geographic Information Technologies.

KEYWORDS: Accessibility. Road network. Mapping. Spain.

1. Introducción

La cuantificación y valoración de la accesibilidad son una cuestión fundamental en los estudios territoriales, especialmente en relación con las infraestructuras de transporte y la evaluación de sus impactos (MONZÓN & al., 2005; SHAW & al., 2008; RODRIGUE & al., 2017). El estudio de la accesibilidad se presenta entonces como una herramienta sumamente adecuada para evaluar los impactos de las políticas de transporte, de las transformaciones territoriales, de la inversión en infraestructuras o de las desigualdades espaciales que estas generan (LÓPEZ & al., 2008; RODRIGUE & al., 2017). Cabe esperar por lo tanto que las propuestas para su medida sean numerosas de acuerdo a los diferentes enfoques existentes, pero también variables de acuerdo a la disponibilidad de información, modos de transporte y escalas de estudio (GARCÍA PALOMARES, 2000).

Asimismo, los estudios centrados en el impacto de proyectos individuales de transporte sobre el valor de accesibilidad son numerosos como indica GUTIÉRREZ (2001), encontrando en la literatura diversos casos de estudio aplicados en España para diferentes modos de transporte, periodos y escalas (GUTIÉRREZ Y GÓMEZ, 1999; GUTIÉRREZ & al., 2010; PUEYO & al., 2012; MOYA-GÓMEZ Y GARCÍA-PALOMARES, 2015; ARRANZ-LÓPEZ & al., 2017a). Cabe también indicar las aportaciones realizadas para la medida y valoración de la accesibilidad viaria a escala

europea, e incluyendo por lo tanto a España (GUTIÉRREZ Y URBANO, 1996; ESPON, 2012; STELDER, 2014; SALAS-OLMEDO & al., 2016), aunque resultan más útiles para la caracterización y evaluación sobre el contexto continental.

En los últimos años las investigaciones han profundizado en la valoración de la accesibilidad efecto del desarrollo de la red ferroviaria de alta velocidad en España ante su especial interés e impacto socioterritorial (PÉREZ & al., 2011; DE UREÑA, 2012), si bien resultan más escasos los trabajos realizados sobre el impacto de la accesibilidad global sobre la red viaria (HOLL, 2007 y 2011). Por ello, resulta de interés conocer y comparar las aportaciones más relevantes desarrolladas por distintos autores y organismos, siendo de utilidad para plantear nuevas propuestas de medida y valoración de la accesibilidad. Asimismo, destacar el interés de los resultados cartográficos de estos estudios para la toma de decisiones y evaluación de planes y políticas en relación con las infraestructuras de transporte (ARRANZ-LÓPEZ & al, 2017b).

Este trabajo se estructura en cuatro secciones a partir de esta introductoria y de contextualización de la investigación. La sección segunda propone los objetivos y la metodología. El apartado tercero recoge la revisión de aportaciones sobre la medida y valoración de la accesibilidad viaria realizados para los casos de la España peninsular. Por último, la sección cuarta incluye las principales conclusiones de la investigación.

2. Objetivos y método

Esta investigación propone revisar las principales aportaciones realizadas para la medida y valoración de la accesibilidad viaria para la España peninsular, valorando sus enfoques, las medidas empleadas y los principales resultados obtenidos en cada investigación. En especial, se revisarán los resultados cartográficos de interés para la evaluación de las situaciones de accesibilidad y las políticas de infraestructuras.

Para ello, se ha realizado una revisión previa en la literatura existente en bases de datos y repositorios de información, y analizando cada trabajo de acuerdo a: modo de transporte (carretera o intermodal en algunos casos), área, formulaciones utilizadas para la medida de la accesibilidad y resolución espacial empleada.

3. Valoración de la accesibilidad viaria en España: revisión de casos

Las aportaciones realizadas para la medida y valoración de la accesibilidad viaria a escala española se han centrado fundamentalmente, y como se ha indicado previamente, en el análisis del territorio peninsular debido a las limitaciones metodológicas lógicas que impone el principio de contigüidad espacial y que facilita el cálculo de los indicadores de accesibilidad. De este modo, existen distintas propuestas que difieren en objetivos, modelo de cálculo y representación, información empleada y resultados obtenidos. En esta investigación se van a considerar únicamente los trabajos que focalizan sobre la España peninsular con el fin de mantener la co-

herencia en los modelos de cuantificación y valoración analizados, y que a su vez resulten de modelos de interés para la evaluación tanto de la red viaria y de los planes de infraestructuras.

De forma previa a la revisión de casos de estudio, destacar el trabajo realizado por MONZÓN DE CÁCERES (1988), que constituye uno de los trabajos de base en este campo, y aun aplicado al estudio de la accesibilidad en la Comunidad de Madrid, supone uno de los referentes metodológicos para el desarrollo de los estudios de accesibilidad en España (GUTIÉRREZ PUEBLA & MONZÓN DE CÁCERES, 1993). A continuación, y en orden cronológico, se exponen las principales consideraciones sobre los estudios analizados, que suman un total de catorce trabajos o referencias si bien se agrupan en siete modelos diferentes.

Cabe iniciar la revisión de trabajos con el estudio de BORRAJO SEBASTIÁN & RUBIO ALFÉREZ (1987), quienes analizan la accesibilidad de la *Red de Interés General del Estado* (RIGE) desde cada núcleo del territorio peninsular al resto para el año 1984 (ver FIG. 1). En el trabajo no se especifica el modelo de cálculo empleado, pero muestra una clasificación de los resultados organizados en cinco niveles de accesibilidad. Se observan así zonas con «muy buena» accesibilidad en las áreas llanas y atravesadas por la red principal, así como junto a alguno de los ejes principales y en las proximidades de las grandes ciudades; y zonas de accesibilidad «regular» y «baja» en los Pirineos, Sierra Morena, Sistemas Béticos, el entorno del estrecho de Gibraltar, parte de la cornisa cantábrica, la costa atlántica gallega y el Sistema Ibérico. Supone por lo tanto una aportación de interés para la caracterización de la accesibilidad viaria en los años ochenta, aunque se echa en falta una descripción más completa del método de análisis.

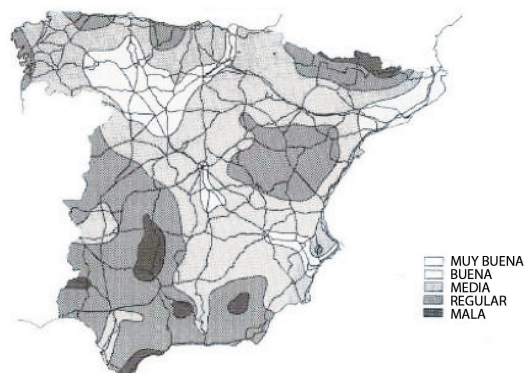


FIG. 1/ Accesibilidad desde cada núcleo al resto, 1984

Fuente: BORRAJO SEBASTIÁN y RUBIO ALFÉREZ, 1987.

Un segundo trabajo de referencia, también para el territorio peninsular, es el realizado en el *Plan Director de Infraestructuras 1993-2007* (PDI) (MOPTMA, 1994). Este documento, de tipo técnico, utiliza el indicador de accesibilidad geográfica por carretera disponible para dos escenarios (1991 y 2007), reflejando las situaciones de accesibilidad existentes antes y la prevista después del desarrollo del plan. Al igual que en el caso anterior, tampoco se aporta la información sobre su modelo de cálculo, aunque se trata de un indicador que presenta la accesibilidad geográfica en base a los centros de actividad económica peninsulares de acuerdo a la localización geográfica y a la calidad de las infraestructuras (MOPTMA, 1994). Incluyó únicamente la red viaria principal compuesta por la RIGE, conectando las capitales

provinciales y ciudades de más de 75.000 habitantes, pero excluyendo por lo tanto la mayor parte de municipios.

Los resultados muestran como para el escenario previsto en 2007 mejoraban los valores de accesibilidad «muy alta» respecto a los de 1991 en gran parte del centro peninsular, entorno de Valencia y en el valle del Ebro; mientras que presentaba todavía niveles de accesibilidad «muy baja» en los espacios peninsulares más periféricos y, en especial, en el noroeste y sudoeste, aunque con una mejora evidente sobre 1991 (ver FIG. 2). Las zonas montañosas del Pirineo y de las Béticas, junto a los espacios fronterizos con Portugal, presentan para ambos escenarios valores de baja accesibilidad.

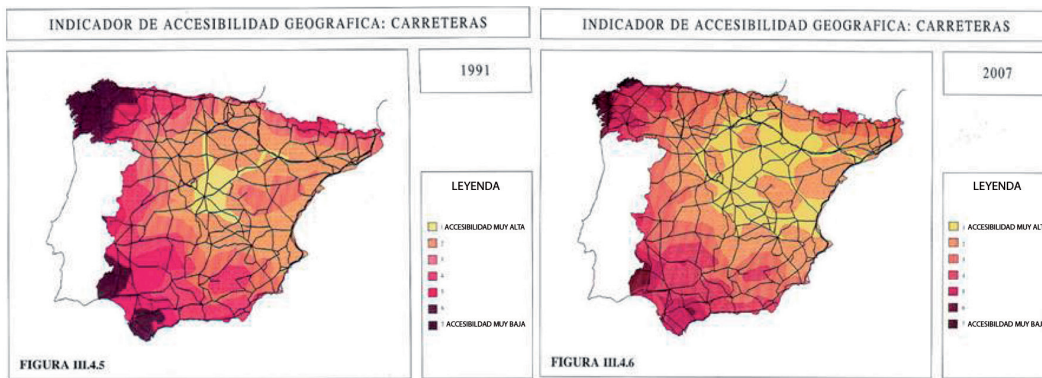


Fig. 2/ Indicador de accesibilidad geográfica por carretera en 1991 (izquierda) y 2007 (derecha)

Fuente: MOPTMA, 1994.

El PDI proporciona también otra valoración sobre la accesibilidad anterior y posterior a la ejecución del plan, en este caso mediante el indicador de calidad de las carreteras en la accesibilidad para la España peninsular para los años 1991 y 2007, y que a diferencia de los dos anteriores no incorpora el componente geográfico (MOPTMA, 1994). Comparando este indicador con el de accesibilidad geográfica, los resultados difieren parcialmente (ver FIG. 3), distinguiendo las zonas con peor calidad de infraestructuras en las áreas montañosas (Sistema Ibérico y Pirineo) para ambos periodos, sobre las de mejor accesibilidad de los espacios llanos y próximos a los grandes ejes y corredores.

Asimismo, y con objeto de la formulación del PDI, se elaboró un estudio sobre acce-

sibilidad a los centros de actividad económica en el que se analizaron los efectos de las actuaciones contempladas en el plan sobre la accesibilidad territorial en diferentes modos de transporte (MOPT, 1992; GUTIÉRREZ PUEBLA & MONZÓN DE CÁCERES, 1993). El modelo se realizó en base a la accesibilidad de 450 localizaciones, ubicadas en la red de carreteras existente en 1992 y sobre la prevista en 2007, sirviendo como nodos sobre los que realizar la interpolación espacial respecto a los centros de actividad. Estos consideraron hasta treinta áreas urbanas que superaban los 100.000 millones de pesetas de renta (601 millones de euros) y una población de al menos 150.000 habitantes.

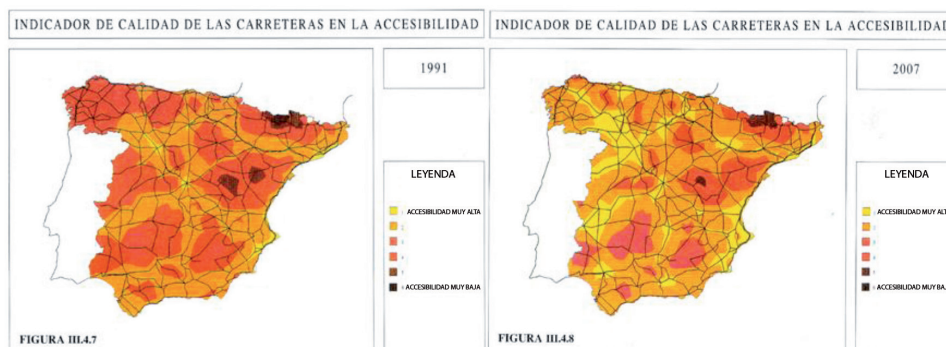


Fig. 3/ **Indicador de calidad de las carreteras en la accesibilidad en 1991 (izquierda) y 2007 (derecha)**

Fuente: MOPTMA, 1994.

El cálculo se realizó para dos indicadores de accesibilidad: absoluta y relativa, considerando la velocidad media de cada tipo de carretera y la intensidad media de tráfico. Los resultados del indicador de accesibilidad absoluta (ver Fig. 4) muestran el peso de la localización geográfica de los nodos, configurando un modelo

centro-periferia con influencia de la localización de los centros de actividad; mientras que los del indicador de accesibilidad relativa (ver Fig. 5) exponen la neutralización del efecto de localización de los nodos, reflejando mejor los efectos de las infraestructuras viarias (GUTIÉRREZ PUEBLA & MONZÓN DE CÁCERES, 1993).

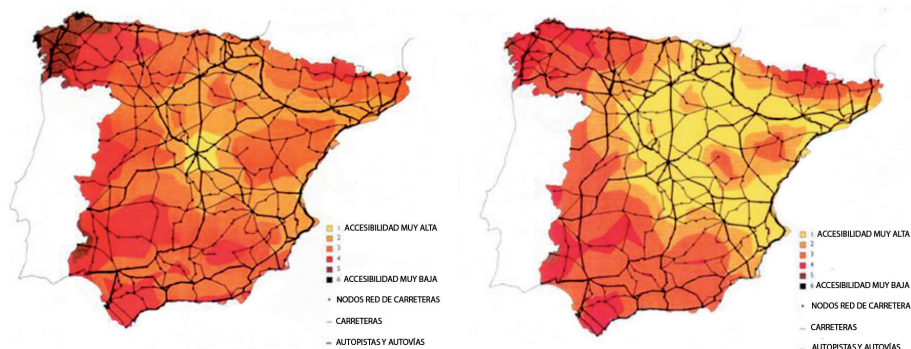


Fig. 4/ **Accesibilidad absoluta a los centros de actividad económica en 1992 (izquierda) y 2007 (derecha)**

Fuente: GUTIÉRREZ PUEBLA & MONZÓN DE CÁCERES, 1993.

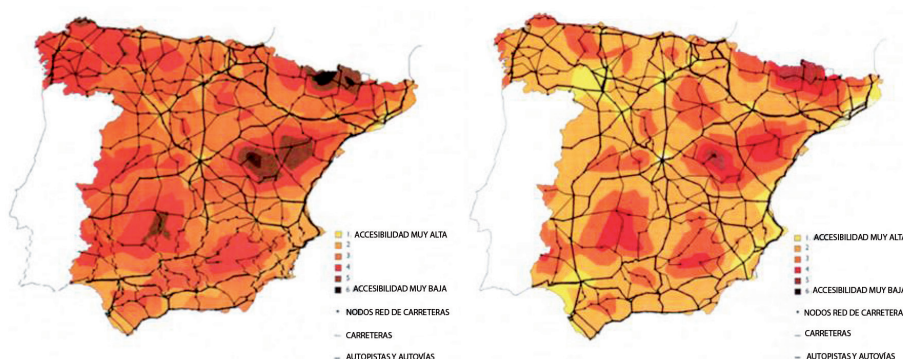


Fig. 5/ **Accesibilidad relativa a los centros de actividad económica en 1992 (izquierda) y 2007 (derecha)**

Fuente: GUTIÉRREZ PUEBLA & MONZÓN DE CÁCERES, 1993.

Por su parte, los diferentes trabajos desarrollados por CALVO PALACIOS & al. (1993); PUEYO CAMPOS (1993), PUEYO CAMPOS & al. (2009 y 2012) y LÓPEZ-ESCOLANO & al. (2016), han realizado también diferentes análisis sobre la accesibilidad viaria a escala peninsular, pero orientando la investigación sobre un modelo de cálculo que incluye la red viaria y la integración de la población con desagregación municipal, a diferencia de los núcleos más habitados considerados por los estudios vistos hasta ahora. Las unidades de trabajo empleadas resultan apropiadas para la realización de valoraciones multiescales por el modelo de cálculo empleado y la representación de los resultados en una malla o rejilla de 25 km², en vez del modelo de coropletas de los ejemplos anteriores.

Para generar los escenarios de accesibilidad territorial estos autores utilizan diversos indicadores como accesibilidad absoluta potencial, accesibilidad según factor de ruta y accesibilidad según factor de ruta con población. Estos se han implementado sobre la red de carreteras, aunque también aportan estudios combinados con la alta velocidad ferroviaria, permitiendo recrear modelos complementarios e integrados que optimizan el potencial intermodal del transporte (PUEYO CAMPOS & al., 2009).

El primer indicador, el de accesibilidad absoluta potencial, se muestra en la FORM. 1, donde dm_{ij} es la suma de distancias valoradas en tiempo de desplazamiento de cada celda i a todas las cabeceras municipales j a través de los itinerarios más cortos y dividido por n , siendo n el número total de municipios (PUEYO CAMPOS & al., 2009). La red viaria se encuentra ponderada de acuerdo a la velocidad media establecida por la Dirección General de Tráfico para cada tipo de vía, suponiendo un cambio metodológico importante frente a los 64,44 km/hora de velocidad media para toda la red referida en los trabajos realizados por el MOPTMA en 1994 (PUEYO CAMPOS & al., 2009).

$$AAP_i = \frac{\sum_{j=1}^n dm_{ij}}{n}$$

FORM. 1. Indicador de accesibilidad absoluta potencial. Fuente: PUEYO CAMPOS & al., 2009.

Los resultados cartográficos del indicador de accesibilidad absoluta potencial (ver FIG. 6) presentan una fuerte dependencia espacial, ya

que los nodos con una posición central sobre el conjunto la red son los que adquieren los mejores valores de accesibilidad. Sin embargo, configura ejes y corredores de acuerdo a las características de la red viaria, por lo que resulta útil para determinadas actuaciones y periodos de la planificación, aunque no es el más indicado para representar escenarios de accesibilidad real porque los espacios centrales adquieren elevada accesibilidad en detrimento de los periféricos, situación que no responde a la realidad territorial en la mayor parte de las ocasiones.

El segundo indicador que emplean es el de accesibilidad según factor de ruta. Según la FORM. 2, FR_i valora la calidad de comunicación de una célula i a todas las cabeceras municipales del área de estudio j , a través de la relación entre el camino de mínimo tiempo de desplazamiento dm_{ij} siguiendo los itinerarios más cortos y valorado en tiempo el desplazamiento, de acuerdo a las ponderaciones para cada tramo de carretera al igual que realizan en el caso del indicador de accesibilidad absoluta potencial (PUEYO CAMPOS & al., 2009).

$$FR_i = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{dm_{ij}}{de_{ij}}}{n}$$

FORM. 2. Indicador de accesibilidad según factor de ruta. Fuente: PUEYO CAMPOS & al., 2009.

Este indicador resulta claro para medir la calidad de conexión que proporciona la red viaria, ya que los valores de mejor accesibilidad se encuentran directamente relacionados con el trazado, y resultan óptimos cuando el itinerario que minimiza el tiempo de viaje coincide con el de mejor longitud y mejor servicio (calidad de la carretera, ausencia de puertos, buen trazado) (PUEYO CAMPOS & al., 2009). Los resultados difieren en buen grado de los obtenidos por el indicador de accesibilidad absoluta potencial, ya que se confiere un mayor peso a las características de la red que afectan a cada nodo frente a la posición geográfica del anterior (ver FIG. 6).

En este contexto, el diagnóstico del sistema de transporte del *Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte* (PEIT) 2005-2020 incluye un modelo cartográfico del índice de accesibilidad a la red de carreteras existente antes y la esperada posteriormente a la aplicación del plan. Sin embargo, el documento no incluye los años de referencia ni tampoco el modelo de cálculo

del indicador. No obstante, los resultados de los mismos (ver FIG. 7) evidencian los problemas de accesibilidad derivados del carácter radial de los corredores (Ministerio de Fomento, 2005), como sucede en el escenario previo al plan. Por su parte, el escenario de accesibili-

dad previsto tras su desarrollo muestra que no desaparece el carácter radial y la dualización territorial que el PEIT 2005-2020 intenta corregir, si bien las diferencias son menos acusadas y se aprecia la mejora de accesibilidad para el conjunto del territorio peninsular.

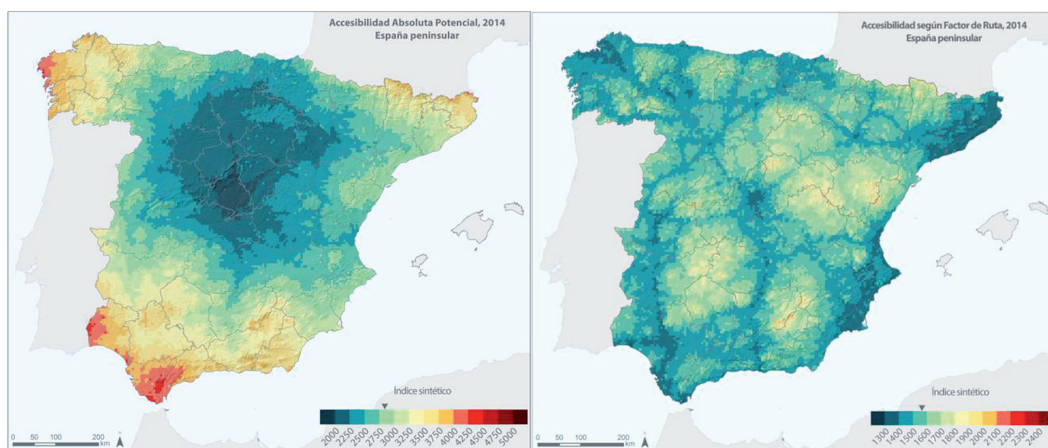


FIG. 6/ **Accesibilidad absoluta potencial (izquierda) y accesibilidad según factor de ruta (derecha) en 2014**

Fuente: LÓPEZ-ESCOLANO & al., 2016.

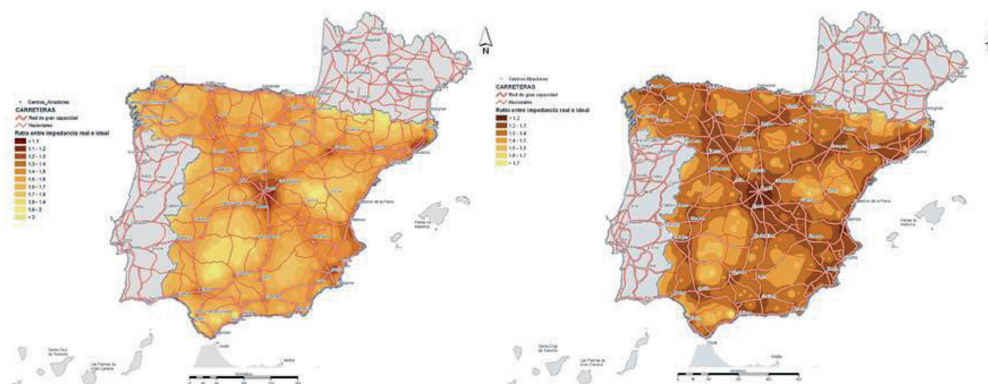


FIG. 7/ **Accesibilidad por carretera previa a la actuación del PEIT (izquierda) y la esperada tras las actuaciones (derecha)**

Fuente: MINISTERIO DE FOMENTO, 2005.

Otra de las aportaciones, más reciente, que ha desarrollado la medida de la accesibilidad viaria para la España peninsular es la realizada por HOLL (2004, 2007 y 2011), quien presenta sus resultados valorando los cambios en el potencial de mercado a escala municipal para los años 1980 y 2000 (HOLL, 2004 y 2007), así como para 2005 (HOLL, 2011). En estos trabajos utiliza la siguiente formulación para el cálculo de la accesibilidad potencial de mercado (ver FORM. 3):

$$ACC_i = \sum_{j \in L_{438}} \frac{POP_j}{C_{ij}}$$

FORM. 3. Medida de accesibilidad de potencial de mercado empleada por Holl, 2004, 2007 y 2011. Fuente: HOLL, 2004, 2007 y 2011.

Siendo POP_j la población de los municipios en el conjunto de destinos L_{438} (considera todos los municipios de más de 10.000 habitantes, 438 en total y que suponen el 75% de la población de la España peninsular), C_{ij} es la distancia entre el municipio i y j valorada en tiempo de desplazamiento, donde $C_{ij} = 1$ para todos los municipios que se encuentran a menos de media hora de viaje (HOLL, 2004, 2007 y 2011). Para valorar el tiempo de desplazamiento, emplea una red viaria configurada por la red principal, obtenida de mapas oficiales de carreteras del Ministerio de Fomento e implementada en un SIG, con una asignación para los tiempos de desplazamiento de 120 km/h para autovías y autopistas, de 90 km/h para otras carreteras y de 30 km/h para los municipios que quedan fuera de esta red, calculando el acceso a la misma mediante la distancia en línea recta por aire desde cada centroide municipal hasta el enlace más próximo a la red y a los nodos de enlace en el caso de autopistas o autovías (HOLL, 2011).

Los resultados ofrecen la accesibilidad de potencial de mercado en la España peninsular para 1980 y 2005 (ver FIG. 8). Para 1980 se aprecian diferencias zonales notables respecto a la media de accesibilidad, encontrando los valores más elevados en torno a las principales ciudades, así como en los principales ejes de gran capacidad localizados en el valle del Ebro y en el corredor mediterráneo; mientras que esta disminuye en las zonas rurales y algunos de los espacios periféricos como Galicia, Extremadura o el Pirineo. En su trabajo de 2007, añade resultados intermedios, concluyendo que entre 1980 y 1994 las mayores mejoras de accesibilidad, en términos relativos, se dieron en Galicia, Cataluña, Extremadura y el sureste peninsular (HOLL, 2007). Para el año 2005, en términos generales, las zonas con mejor accesibilidad se replican sobre las de 1980, aunque se atiende a mejoras importantes en el sur de la Comunitat Valenciana, la Región de Murcia, el centro de Castilla-La Mancha y centro de Andalucía.

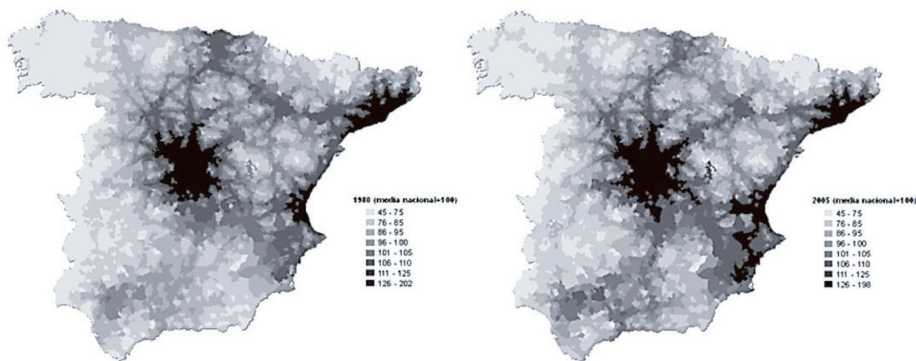


FIG. 8/ Accesibilidad de potencial de mercado en 1980 (izquierda) y 2005 (derecha)

Fuente: HOLL., 2011.

La variación entre ambos escenarios muestra que aunque la situación general de accesibilidad no varió de forma sustancial durante dicho periodo, sí se dieron diferencias en los beneficios producidos (HOLL, 2011), localizados en los espacios periféricos de la mitad sur y, con especial intensidad, en las provincias de Albacete, Alicante, Almería, Granada, Huelva, Jaén, Málaga o Murcia, pero también en Extremadura, resto de Castilla-La Mancha y Galicia.

Por su parte, LÓPEZ & al. (2008) valoran los efectos que las infraestructuras de transporte presentan sobre la cohesión regional mediante indicadores de accesibilidad, cuestión a la

cual no se ha prestado todavía la suficiente atención en la literatura existente, en especial en la evaluación de las políticas y de los planes de infraestructuras a escalas nacionales (LÓPEZ & al., 2008). Se analizan a continuación los cuatro indicadores de accesibilidad aplicados al caso de la España peninsular para 1992 y 2004, tanto para carretera como ferrocarril:

- 1) Indicador de localización: en base al empleo por GUTIÉRREZ & al. (1996), calcula el tiempo promedio de viaje ponderado por la población de destino y una selección de centroides de las regiones (FORM. 4):

$$L_i = \frac{\sum_{j=1}^n I_{ij} \cdot P_j}{\sum_{j=1}^n P_j}$$

FORM. 4. Indicador de localización empleado. Fuente: GUTIÉRREZ & al., 1996; LÓPEZ & al., 2008.

Donde L_i es la accesibilidad (localización) del nodo i , I_{ij} es la impedancia (tiempo de desplazamiento por la ruta más mínima a través de la red viaria entre el nodo i y el centroide de la región j valorado en minutos, y P_j es la población de la región j , y siendo los nodos de destino j los principales centros de actividad económica del área de estudio, seleccionados de acuerdo a diferentes umbrales (LÓPEZ & al., 2008). Los resultados de accesibilidad de los nodos dependen en buena medida de la posición geográfica, por lo que muestran un patrón centro-periferia en el que las localizaciones más periféricas muestran valores de accesibilidad inferiores, y en el que un sistema adecuado de infraestructuras no supone sobrepasar los efectos negativos de las distancias elevadas hasta los principales centros de actividad económica (LÓPEZ & al., 2008).

El resultado cartográfico del indicador de localización (ver FIG. 9) para la variación entre 1992 y 2004 presenta un mayor impacto de las inversiones realizadas en carreteras en el noroeste peninsular, especialmente en Galicia. También se dan mejoras relevantes en determinados sectores de la costa mediterránea (Andalucía y Valencia), del norte de la provincia de Huesca, en las provincias atravesadas por la Vía de la Plata, en el espacio central de Castilla-La Mancha o en parte de los ejes radiales; correspondiéndose con los espacios donde se construyeron buena parte de las nuevas vías de gran capacidad.

- 2) Indicador de accesibilidad potencial: en base a las medidas de base gravitacional y adaptada desde el enfoque de potencial económico desarrollado por HANSEN (1959) y que enfatiza sobre la interacción existente entre localizaciones, su expresión (FORM. 5) indica el nivel de accesibilidad (u oportunidad) entre el nodo i y el nodo de destino j está positivamente relacionado con la masa del nodo de destino, y es inversamente proporcional a alguna potencia de la distancia entre ambos nodos (LÓPEZ & al., 2008):

$$Pot_i = \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{I_{ij}^\alpha}$$

FORM. 5. Indicador de accesibilidad potencial. Fuente: HANSEN, 1959; LÓPEZ & al., 2008.

Siendo Pot_i el potencial del nodo i , α un parámetro de gravedad habitualmente asumido a 1, y los demás términos se corresponden con los mismos que en la formulación anterior. Población y PIB son las variables más extendidas que representan la masa de oportunidades disponibles en el destino. Este indicador refleja diferencias importantes respecto al de localización derivadas de su formulación aplicada a la función de disminución de la distancia (LÓPEZ & al., 2008). Los resultados (ver FIG. 9) muestran una medida agregada del área de mercado de un determinado espacio, siendo apropiado para explicar relaciones económicas del territorio. Se evidencian los mayores incrementos en las mismas zonas que el indicador de localización, pero de forma más intensa sobre aquellos espacios situados junto a los tramos de nueva construcción y ubicados de forma próxima a ciudades, mostrando los efectos de la formulación de potencial.

- 3) Indicador de eficiencia de la red en base a modelo gravitatorio: de acuerdo a la idea de que los resultados de algunos indicadores de accesibilidad resultan inadecuados para determinar las necesidades de infraestructuras de transporte, como el de localización, debido a que presentan una fuerte componente determinada por la posición geográfica de los nodos, se requieren de otros indicadores complementarios que neutralicen dichos efectos y permitan otro tipo de valoraciones de acuerdo a la facilidad de acceso de cada localización (MARTÍN & al., 2004; LÓPEZ & al., 2008). La FORM. 6 expresa esta indicador:

$$E_i = \sum_{j=1}^n \frac{I_{ij} \cdot W_j}{\sum_{j=01}^n W_j}$$

FORM. 6. Indicador de eficiencia de la red en base al modelo gravitatorio. Fuente: MARTÍN & al., 2004; LÓPEZ & al., 2008.

Siendo E_i el indicador de eficiencia de la red, I_{ij} la impedancia ideal que expresa el tiempo de desplazamiento en minutos entre i y j utilizando una hipotética

infraestructura directa y de alta calidad, y W_{ij} la ratio entre la población de destino y la ruta de tiempo mínimo entre i y j (LÓPEZ & al., 2008). Este indicador otorga más importancia a la calidad de la conexión de la red tanto para destinos próximos como lejanos, ofreciendo información relevante sobre la eficiencia de las conexiones de la red de un nodo determinado de forma independiente a su posición geográfica, y por lo que resulta de interés para la toma de decisiones (LÓPEZ & al., 2008).

- 4) Indicador de accesibilidad diaria: este último indicador pertenece a los de tipo de acumulación de oportunidades, y resulta

de especial interés para la valoración de los destinos que se pueden alcanzar desde una determinada localización en un día. Así, la FORM. 7 ofrece la expresión del mismo en base a la empleada por GUTIÉRREZ (2001), donde el indicador calcula para cada nodo el número de habitantes que se pueden alcanzar en menos de cuatro horas:

$$D_i = \sum_{j=1}^n P_j \cdot \delta_{ij}$$

FORM. 7. Indicador de accesibilidad diaria.
Fuente: GUTIÉRREZ, 2001; LÓPEZ & al., 2008.

Así, D_i es la accesibilidad diaria del nodo i , = 1 si $lij < 4$ horas, y 0 si no se cumple.

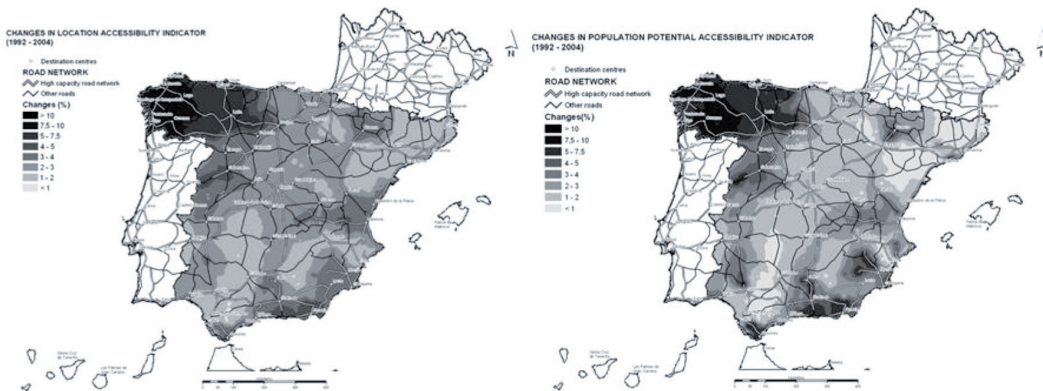


FIG. 9/ Cambios en el indicador de accesibilidad por localización entre 1992 y 2004 por carretera (izquierda) y de accesibilidad potencial entre 1992 y 2004 (derecha)

Fuente: LÓPEZ & al., 2008.

Los resultados cartográficos de la variación de los valores del indicador de accesibilidad diaria entre 1992 y 2004 muestran que estos se han dado con más intensidad en el cuadrante noroeste peninsular y en un conjunto de espacios, muchos de ellos urbanos, repartidos por diferentes zonas de la península, principalmente en la Comunitat Valenciana, la Región de Murcia, Andalucía, Extremadura, Castilla-La Mancha y otras áreas como Soria, norte de Navarra o Segovia, entre otros.

El trabajo de LÓPEZ & al. (2008) supone por lo tanto un enfoque diferenciado al incluir los efectos de la inversión en infraestructuras sobre la cohesión regional, si bien únicamente valoran un periodo de doce años mostrando las tendencias de un momento de fuerte inversión en infraestructuras de transporte en determinadas zonas y sin correlación con otras variables territoriales. Los resultados obtenidos muestran, sin embargo,

que la cohesión ha mejorado con la accesibilidad viaria.

Por último, y siguiendo este último enfoque que valora los efectos que las infraestructuras de transporte generan sobre la cohesión territorial, cabe revisar una de las aportaciones más recientes en la valoración de la accesibilidad en la España peninsular. Así, la investigación realizada por NARANJO GÓMEZ (2016) tiene como objetivo valorar cómo la accesibilidad prevista tras la finalización de las nuevas vías de gran capacidad y de las líneas de alta velocidad previstas en el *Plan de Infraestructuras de Transporte y Vivienda (PITVI) 2012-2024* afecta a la cohesión social de los municipios de la España peninsular. Para ello, considera que la mejora de accesibilidad no es el único factor determinante para la mejora del desarrollo socioeconómico, por lo que incide en una línea propia de la planificación de infraestructuras de transporte

como es el análisis de indicadores de cohesión social. En primer lugar, determina cuatro clases o niveles de desarrollo para los municipios mediante la clasificación socioeconómica de los mismos considerando hasta once variables de diferentes fuentes (NARANJO GÓMEZ, 2016).

A continuación, mide la accesibilidad potencial de cada municipio a partir del escenario existente en 2012 y del previsto en 2024, de acuerdo este último a las actuaciones previstas en materia de carreteras de gran capacidad y ferrocarril de alta velocidad por el horizonte del PITVI. Sin embargo, se han detectado algunas lagunas de información por omisión de parte de la red de carreteras de gran capacidad en 2012 y 2024.

La accesibilidad potencial mide el grado de conexión entre el centro urbano principal de cada municipio y todos los demás municipios peninsulares, siendo una medida adaptada a la medida de la cohesión social en función de la accesibilidad, ya que tiene en cuenta la disponibilidad del modo de transporte para la población en las diferentes regiones y la distribución espacial de los destinos de viaje. La expresión del indicador de accesibilidad potencial utilizada por NARANJO GÓMEZ (2016) responde a (FORM. 8):

$$PP\tau = \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{t_{ij}^\beta}$$

FORM. 8. Indicador de accesibilidad potencial empleado por Naranjo, 2016. Fuente: NARANJO GÓMEZ, 2016.

Donde $PP\tau$ se refiere a la accesibilidad del municipio i , P_j a la población del centro principal de destino (al que se ha agregado la población de otros núcleos urbanos del municipio si existen).

Sobre el denominador, t es el tiempo de viaje menor entre el origen y la ciudad de destino, y β es un parámetro de distancia que representa la fricción del movimiento. Mediante otra fórmula halla el tiempo mínimo de viaje entre el núcleo de origen y el de destino (NARANJO GÓMEZ, 2016), categorizando los valores obtenidos para los municipios en cuatro niveles o categorías relativas de accesibilidad, así como la valoración de las mejoras de accesibilidad producidas en cada municipio.

Los resultados combinados de la accesibilidad a las vías de gran capacidad junto a las líneas de alta velocidad existentes en 2012 (ver FIG. 10) muestran una muy alta accesibilidad en el entorno de Madrid, Barcelona y Valencia; niveles altos en gran parte del territorio del centro peninsular, País Vasco, costa mediterránea, valle del Ebro y valle del Guadalquivir; y niveles bajos en las zonas montañosas, cornisa cantábrica, costa andaluza y Extremadura. En cambio, los peores niveles se hallan en las zonas rurales de Galicia y en los espacios fronterizos con Portugal. Sin embargo, la población atendida por accesibilidad alta y media-alta alcanza casi el 75%, con más del 50% de los municipios. En cambio, el escenario prospectivo previsto para 2024 (ver FIG. 10) evidencia incrementos de accesibilidad en los entornos de las principales zonas urbanas y los espacios con muy baja accesibilidad se reducen sensiblemente, como Galicia. La población cubierta por accesibilidad alta y media-alta alcanza el 80% y casi el 66% de los municipios; mientras que la población con baja accesibilidad pasa del 2,52% de 2012 al 0,67% del total. Los resultados del trabajo de NARANJO GÓMEZ (2016) evidencian el uso de un indicador de fuerte componente geográfica que penaliza los espacios periféricos y con influencia del ferrocarril de alta velocidad sobre la accesibilidad viaria.

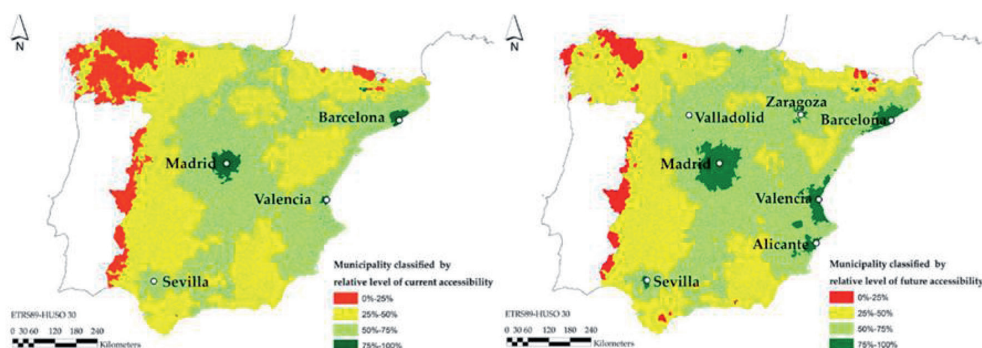


Fig. 10/ Niveles relativos de accesibilidad en 2012 (izquierda) y niveles relativos de accesibilidad prevista en 2024 (derecha)

Fuente: NARANJO GÓMEZ, 2016.

Finalmente, la FIG. 11 sintetiza los siete modelos de valoración de la accesibilidad revisados durante este trabajo.

FIG. 11/ Estudios de casos revisados para la medida de la accesibilidad.

Autor/es y año del trabajo	Modo	Área	Periodo	Formulación	Resolución espacial	
BORRAJO SEBASTIÁN Y RUBIO ALFÉREZ, 1987	Carretera	España peninsular	1984	Sin especificar	Interpolación espacial continua por interpolación	
GUTIÉRREZ PUEBLA y MONZÓN DE CÁCERES, 1993	Carretera	España peninsular	1991 y 2007	$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n (I_{ij} \cdot GDP_j)}{\sum_{j=1}^n GDP_j}$	Interpolación espacial continua por interpolación	
CALVO PALACIOS & al., 1193; PUEYO CAMPOS, 1993; PUEYO CAMPOS & al., 2009 y 2012; LÓPEZ-ESCOLANO & al.; 2016; LÓPEZ-ESCOLANO, 2017	Carretera, Intermodal	España peninsular	2005, 2008, 2010 (CALVO & al., 1993; PUEYO, 1993; PUEYO & al., 2009 y 2012). 1960-2024/30 (LÓPEZ & al., 2016; LÓPEZ, 2017)	$AAP_i = \frac{\sum_{j=1}^n dm_{ij}}{n}$ $FR_i = \frac{\sum_{j=1}^n dm_{ij}}{n}$ $POT_i = \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{dr_{ij}^2} + P_i$	Malla de 25 km ²	
MOPTMA, 1994	Carretera	Europa occidental y España peninsular	1992 y 2007	$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n (I_{ij} \cdot GDP_j)}{\sum_{j=1}^n GDP_j}$	Interpolación espacial continua por interpolación	
HOLL, 2004, 2007 y 2011	Carretera	España peninsular	1980-2000	$ACC_i = \sum_{j=L438}^n \frac{POP_j}{C_{ij}}$	Interpolación espacial a partir de los municipios de más de 10.000 habitantes	
LOPEZ, GUTIÉRREZ y GÓMEZ, 2008	Carretera, ferrocarril	España peninsular	1992 y 2004	$L_i = \frac{\sum_{j=1}^n I_{ij} \cdot P_j}{\sum_{j=1}^n P_j}$ $E_i = \sum_{j=1}^n \frac{I_{ij} \cdot W_{ij}}{\sum_{j=1}^n W_{ij}}$	$Pot_i = \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{I_{ij}^\alpha}$ $D_i = \sum_{j=1}^n P_j \cdot \delta_{ij}$	Interpolación espacial continua
NARANJO GÓMEZ, 2016	Carretera y ferrocarril de alta velocidad	España peninsular	2012 y 2024	$PP_r = \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{t_{ij}^\beta}$	Municipal	

Fuente: VV.AA. Elaboración propia con base en la revisión de casos.

4. Conclusiones

Este trabajo ha analizado algunas de las principales aportaciones propuestas sobre la medida, valoración y representación cartográfica de la accesibilidad en la España peninsular. De forma específica, se han revisado estudios sobre accesibilidad a la red viaria aunque algunos de ellos proporcionan modelos mixtos con el ferrocarril.

Como principal conclusión, indicar la diversidad hallada en los enfoques, medidas y soluciones adoptadas en cada caso entre los siete estudios de accesibilidad analizados, algunos de ellos para diferentes momentos temporales pero que han utilizado un mismo modelo de análisis y representación de la accesibilidad. Estos interpretan la evolución de este tipo de estudios en España desde finales de los años 80 del siglo XX hasta la actualidad, observando las mejoras introducidas en los modelos de trabajo: extensión de la red viaria, formulaciones, inclusión de otras variables socioeconómicas, y detalle y resolución de los resultados obtenidos, entre otros. Ello ha sido posible por la mejora y difusión de las Tecnologías de la Información Geográfica y por la mayor disponibilidad y acceso a información como redes viarias digitales.

A pesar de las diferentes formulaciones y enfoques empleados en cada trabajo, se puede afirmar que en todos los casos y periodos analizados, los entornos metropolitanos de las principales ciudades y algunos espacios (la mitad septentrional de la costa mediterránea, el valle del Ebro, País Vasco o el centro de Castilla y León) presentan los mejores valores de accesibilidad. En cambio, las zonas rurales del interior peninsular y los espacios montañosos muestran generalmente valores deficitarios de accesibilidad. Algunos de los modelos revelan también una falta de accesibilidad en los espacios periféricos de la zona de estudio, principalmente Galicia, el sur o los Pirineos.

Por su parte, la representación cartográfica de las diferentes medidas de accesibilidad se muestra como una herramienta especialmente útil para la evaluación de las diferentes situaciones de accesibilidad y de los escenarios propuestos tras la consecución de los diferentes planes de infraestructuras. Por ello, la accesibilidad se dispone como un instrumento imprescindible en los procesos de toma de decisiones por parte de los diferentes actores de la planificación de infraestructuras de transporte en España.

5. Bibliografía

- ARRANZ-LÓPEZ & J.A. SORIA-LARA & C. LÓPEZ-ESCOLANO & A. PUEYO CAMPOS. (2017a): Retail Mobility Environments: A methodological framework for integrating retail activity and non-motorised accessibility in Zaragoza, Spain. *Journal of Transport Geography*, 58, pp. 92-103.
- (2017b): Making 'Retail Mobility Environments' visible for collaborative transport planning. *Journal of Maps*, 13 (1), pp. 90-100.
- BORRAJO SEBASTIÁN, J. & J. RUBIO ALFÉREZ (1987): La planificación de carreteras en España. *Situación, 1987/1, Servicio de Estudios del Banco de Bilbao*, pp. 95-113.
- CALVO PALACIOS, J.L. & M.P. ALONSO LOGROÑO & A. PUEYO CAMPOS & J.M. JOVER YUSTE (1993): «Matización de los valores cartográficos de accesibilidad por carretera de la España Peninsular en función de la variable demográfica». *IV Jornadas de la Población Española*. San Cristóbal de la Laguna: Universidad de la Laguna, pp. 191-200.
- DE UREÑA, J.M. (Coord.) (2012): *Territorial Implications of High-Speed Rail: A Spanish Perspective*. London: Ashgate.
- ESPON (2012): *TRACC Transport Accessibility at Regional/Local Scale and Patterns in Europe*. Applied Research 2013/1/10, Draft Final Report, Version 21/12/2012, Vol. 1, Executive Summary and Main Report. ESPON & Spiekermann & Wegener, Urban and Regional Research (S&W).
- GARCÍA PALOMARES, J.C. (2000): La medida de la accesibilidad. *Revistas del Ministerio de Transporte, Turismo y Comunicaciones (T.T.C.)*, 88, pp. 95-110.
- GUTIÉRREZ, J. & R. GONZÁLEZ & G. GÓMEZ (1996): The European high-speed train network: predicted effects on accessibility patterns. *Journal of Transport Geography*, 4 (4), pp. 227-238.
- & P. URBANO (1996): Accessibility in the European Union: the impact of the trans-European road network. *Journal of Transport Geography*, 4 (1), pp. 15-25.
- & G. GÓMEZ (1999): The impact of orbital motorways on intra-metropolitan accessibility: the case of Madrid's M-40. *Journal of Transport Geography*, 7 (1), pp. 1-15.
- (2001): Location, economic potential and daily accessibility: an analysis of the accessibility impact of the high-speed line Madrid-Barcelona-French border. *Journal of Transport Geography*, 9 (4), pp. 229-242.
- GUTIÉRREZ PUEBLA, J. & A. MONZÓN DE CÁCERES (1993): La accesibilidad a los centros de actividad económica antes y después del Plan Director de Infraestructuras. *Ciudad y Territorio: Estudios territoriales*, 1 (97), pp. 385-395.
- & A. CONDEÇO-MELHORADO & J. MARTÍN (2010): Using accessibility indicators and GIS to assess spatial spillovers of transport infrastructure investment. *Journal of Transport Geography*, 18, pp. 141-152.

- HANSEN, W.B. (1959): How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25 (2), pp. 73-76.
- HOLL, A. (2004): Manufacturing Location and Impacts of Road Transport Infrastructure: Empirical evidence from Spain. *Regional Science and Urban Economics*, 34 (3), pp. 341-363.
- (2007): Twenty years of accessibility improvements. The case of the Spanish motorway building programme. *Journal of Transport Geography*, 15 (4), pp. 286-297.
- (2011): Mejoras de accesibilidad viaria: un estudio retrospectivo para la España peninsular. *Papeles de Geografía*, 53-54, 171-183.
- LÓPEZ, E. & J. GUTIÉRREZ & G. GÓMEZ (2008): Measuring regional cohesion effects of large-scale transport infrastructure investments: an accessibility approach. *European Planning Studies*, 16 (2), pp. 277-301.
- LÓPEZ-ESCOLANO, C. & A. PUEYO CAMPOS & R. POSTIGO VIDAL & M.P. ALONSO LOGROÑO (2016): Valoración y representación cartográfica de la accesibilidad viaria en la España peninsular: 1960-2014. *GeoFocus (Artículos)*, 18, pp. 169-189.
- MARTÍN, J.C. & J. GUTIÉRREZ & C. ROMÁN (2004): Data Envelopment Analysis (DEA) index to measure the accessibility impacts of new infrastructure investments: The case of the high-speed train corridor Madrid-Barcelona-French border. *Regional Studies*, 38 (6), pp. 697-712.
- MINISTERIO DE FOMENTO (2005): *PEIT: Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005-2020*. Ministerio de Fomento, Centro de Publicaciones, Madrid.
- MONZÓN DE CÁCERES, A. (1988): *Los indicadores de accesibilidad y su papel decisor en las inversiones en infraestructuras de transporte: aplicaciones en la Comunidad de Madrid*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- & J. GUTIÉRREZ PUEBLA & E. LÓPEZ SUÁREZ & E. MADRIGAL DÍEZ & G. GÓMEZ CERDÁ (2005): Infraestructuras de transporte terrestre y su influencia en los niveles de accesibilidad de la España peninsular. *Revistas del Ministerio de Transporte, Turismo y Comunicaciones (T.T.C.)*, 103, pp. 97-105.
- MOPT - MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES (1992): *Accesibilidad a los centros de actividad económica en España*. Madrid: Dirección General de Planificación Interregional de Grandes Infraestructuras.
- MOPTMA - MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES Y MEDIO AMBIENTE (1994): *Plan Director de Infraestructuras 1993-2007*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 2ª edición.
- MOYA-GÓMEZ, B. & J.C. GARCÍA-PALOMARES (2015): Working with the daily variation in infrastructure performance on territorial accessibility. The cases of Madrid and Barcelona. *European Transport Research Review*, 7(2):20.
- NARANJO GÓMEZ, J.M. (2016): Impacts on the Social Cohesion of Mainland Spain's. Future Motorway and High-Speed Rail Networks. *Sustainability*, 8 (264), 624.
- PÉREZ, E.O. & S.M. QUINTANA & I.O. PASTOR (2011): Road and railway accessibility atlas of Spain. *Journal of Maps*, 7, pp. 31-41.
- PUEYO CAMPOS, Á. (1993): *Utilización de cartografía para el análisis y diagnóstico de la localización de equipamientos*. Tesis Doctoral. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza.
- & J.L. CALVO PALACIOS & J.M. JOVER YUSTE & M. ZÚÑIGA ANTÓN & J.A. JOVER GALTIER (2009): «Representación cartográfica de la accesibilidad intermodal: la combinación de las redes viaria y de la alta velocidad ferroviaria en España». XII Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica, San José, Costa Rica.
- & J.A. JOVER & M. ZÚÑIGA (2012): «Accessibility Evaluation of the Transportation Network in Spain during the First Decade of the Twenty-first Century». En: de Ureña, J.M. (ed.), *Territorial Implications of High Speed rail. A Spanish Perspective*. London: Ashgate, pp. 83-104.
- RODRIGUE, J.P. & C. COMTOIS & B. SLACK (2017): *The Geography of Transport Systems*. Abingdon: Routledge, cuarta edición.
- SALAS-OLMEDO, M.H. & P. GARCÍA-ALONSO & J. GUTIÉRREZ (2016): Distance deterrence, trade barriers and accessibility. An analysis of market potential in the European Union. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 16 (2), pp. 319-343.
- SHAW, J. & R.D. KNOWLES & I. DOHERTY (2008): «Introducing transport geographies». En: KNOWLES, R.D.; SHAW, J.; DOHERTY, I. (eds.), *Transport Geographies: mobilities, flows and spaces*. Oxford: Blackwell, pp. 3-9.
- STELDER, D. (2014): Regional Accessibility Trends in Europe: Road Infrastructure, 1957–2012. *Regional Studies*, 48, pp. 1-13.