

Los indicadores de accesibilidad: la cuantificación de impactos de las redes de transporte



Andrés Monzón de Cáceres

Catedrático de Transportes, Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid.

Director de TRANSyT- Centro de Investigación del Transporte, UPM

Resumen

Se describen los diversos desarrollos de los indicadores de accesibilidad en la planificación del transporte desde los años 80. Los inicios basados en indicadores de tipo topológico han dado paso a indicadores más complejos que incorporan el efecto atractor de las actividades en destino y la tipología y calidad de las redes que comunican el par origen-destino. Posteriormente se han desarrollado indicadores capaces de medir los efectos territoriales, los impactos económicos y también los ambientales. Todo ello ha sido posible con la introducción en este campo de los Sistemas de Información Geográfica, cada vez más potentes en capacidad de cálculo y de visualización de resultados. Por último se presentan la generación de indicadores que permiten introducir la medida de la equidad y otros efectos sociales en el caso de aplicar medidas de gestión de la demanda, como peajes urbanos, y mejora de los servicios de transporte público.

Palabras clave

Accesibilidad; planificación del transporte; impactos socio-económicos, ambientales y territoriales

Abstract

A number of different accessibility indicators developed from the 80s are analysed. The first type of indicators were of topology nature. Then a new generation of more complex indicators added the attractiveness of the destination and the quality of the origin-destination networks. The following step was a new generation of accessibility indicators able to measure the territorial effects, and the economic and environmental impacts. These developments have been possible due to the use in this field of Geographic Information Systems, which have a growing capacity for calculations and better representation and visualisation tools. Recently the accessibility indicators are facing more complex challenges as to incorporate the measurement of equity and social effects, which happen when implementing transport demand measures like urban tolls, better public transport services, etc.

Keywords

Accessibility, transportation planning, socio-economic, environmental and territorial impacts

Recuerdo personal de Rafael Izquierdo

Durante mi época de estudiante en la Escuela de Caminos de Madrid no coincidí con Rafael pues correspondió con su época en Santander. Cuando terminé los cursos de doctorado, que en aquel entonces los realizábamos al salir del trabajo, traté de buscar un director para realizar la tesis. Así conocí a Rafael, pues ya era el Catedrático de Transportes de Madrid, y el contacto natural al haber hecho la especialidad en Transporte y Urbanismo.

Viendo mi entusiasmo, pero también mi carencia de tiempo, me sugirió realizar una tesis sobre un tema que no conllevara trabajo de campo, ni laboriosas búsquedas

de información. Acababa el MOPU de lanzar el Plan de Carreteras de 1984/91 que incluía, por primera vez, unos estudios de accesibilidad. Y me sugirió aplicar ese tipo de metodología al análisis de los Planes de Carretera Regionales que empezaban a surgir tras la transferencia de la red del estado a las recientes Comunidades Autónomas.

Así empezó una relación profesional-científica, que pronto se convirtió en amistad, dada la empatía personal de Rafael. No puedo decir que me facilitara mucho las cosas al principio, pues no estaba muy convencido –así me lo dijo años más tarde– de que realmente fuera a proseguir con mi empeño doctoral, dado el poco tiempo de que dispo-

nía. Pero lo cierto es que cuando vio que progresaba me comunicó su entusiasmo personal, terminando la tesis en un plazo razonable de 3 años. Y eso fue el comienzo de un cambio de mi actividad profesional, pues al poco tiempo pude dar “el salto” a la actividad académica, movido por el disfrute de mi investigación doctoral y por el entusiasmo de Rafael por la enseñanza y la formación de investigadores. He recorrido junto a Rafael este camino universitario –fue el presidente de mis oposiciones a Profesor Titular y de Cátedra– con el que siempre ha sido fácil trabajar y superar obstáculos y problemas, y más tarde promovimos el Centro de Investigación del Transporte, en el que me honra haberle sucedido como director. Sé que no estoy ni mucho menos a su altura, pero su recuerdo es una referencia continua para tratar de no apartarme de lo que debe ser un profesor, la preocupación por dar lo mejor a los alumnos e investigadores, en colaboración con el resto de compañeros.

1. Los indicadores de accesibilidad y la planificación de infraestructuras

Los indicadores de accesibilidad nacieron hace más de medio siglo (Hansen, 1959) como herramienta de medida de la facilidad/dificultad de conexión entre los diversos orígenes y destinos de una red (Monzón, 1988), superando las medidas anteriores de densidad de infraestructuras (km/habitante y km/km²). Este tipo de indicadores miden no sólo la dotación y calidad de infraestructuras, sino que las pondera según las actividades en el nodo de destino

(land-use), así como por el potencial generador del nodo origen. Es esta una visión de la accesibilidad más basada en el individuo o grupos de individuos (Geurs, y Wee, 2004) que quieren satisfacer sus necesidades accediendo a los servicios ofrecidos en los destinos (accesibilidad a oportunidades) a través de la red de infraestructuras (Gutiérrez, Monzón y Piñero, 1998).

Hay que identificar, por tanto, varios elementos de un indicador de accesibilidad avanzado:

- La red, que aporta la calidad de la comunicación, que habrá de medirse según su velocidad media, distancia, interrupciones, transferencia entre modos, etc.
- Las características de los demandantes de viajes: concentración de la población en el nodo, su estratificación según tipología de usuarios, etc.
- Las oportunidades ofrecidas en el nodo destino y su distribución geográfica dispersa o concentrada:

2. Los indicadores de accesibilidad en los planes de carreteras

A partir de los años 70, la planificación de redes de transporte experimentó un cambio conceptual, pasando de considerar sólo los elementos de diseño: capacidad, trazado y seguridad, a considerarlas en su contexto territorial. Como señalaba Morris (1978), el objetivo de dotar de

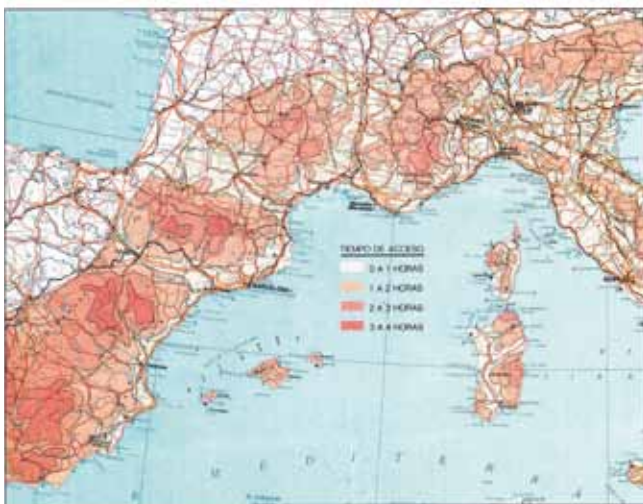


Fig. 1. Accesibilidad Arco Mediterráneo (Turró, Ullied, 1990)

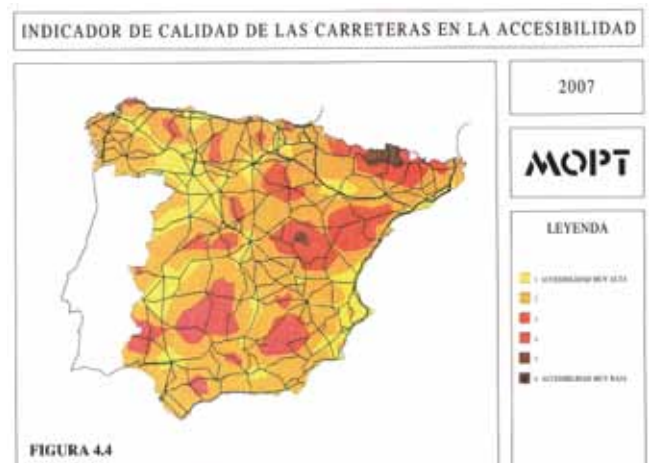


Fig. 2. PDI Accesibilidad Carreteras 2007

buena accesibilidad a las regiones debe primar sobre el de solucionar los problemas puntuales de congestión de las redes. Las redes de transporte pasan a verse como vertebradoras del sistema territorial, analizando las relaciones usos del suelo-transporte, como factor de progreso económico y social (Izquierdo y Monzón, 1992, 1993).

El Avance del Plan de Carreteras 1984/91 (MOPU, 1985) empleó indicadores topológicos de accesibilidad potencial en la fase de diagnóstico. Estos indicadores, relativamente simples, sólo consideraban la mejora de la calidad de comunicación con los nuevos trazados y velocidades de proyecto. Este tipo de análisis fue aplicado en muchos de los Planes de Carreteras desarrollados por las Comunidades Autónomas, tras recibir la transferencia de competencias sobre una gran parte de la red estatal. Los indicadores empleados incluyeron algunas mejoras dando lugar a los índices de trazado-velocidad. También la planificación de la red de ferrocarriles introdujo indicadores de accesibilidad ferroviaria (RENFE, 1987). Este interés generalizado por la accesibilidad produjo investigaciones metodológicas para desarrollar nuevos indicadores para medir los objetivos de las políticas regionales en las CC. AA. Este fue el caso de la tesis doctoral de Monzón (1988) relativa a la red de carreteras de la Comunidad de Madrid.

El incipiente proceso de integración europea generó un gran interés por la política de redes transeuropeas, y se

desarrollaron nuevos indicadores de accesibilidad para “medir” el grado y los objetivos de integración. Keeble (1986) desarrolló indicadores de perifericidad para establecer prioridades de la política regional europea, que fueron de carácter multimodal. Turró y Ulled (1990) desarrollaron otros indicadores de accesibilidad más complejos incluyendo no sólo el tiempo de viaje, sino también el de acceso a las redes, las penalizaciones de transbordo e incluso el efecto frontera.

3. Impactos territoriales y económicos

Pero los indicadores de accesibilidad debían dar un paso más de carácter multimodal y multisectorial. Así el nuevo Plan Director de Infraestructuras adoptó por primera vez un enfoque multimodal, considerando también aspectos novedosos como la calidad del transporte, las externalidades y los impactos ambientales. Sin embargo la accesibilidad se analizó de modo sectorial para cada modo, como el caso del estudio de carreteras, generando mapas de accesibilidad como el de la figura 2, realizado por el equipo de la Cátedra de Transportes de la Escuela de Caminos de Madrid (MOPT, 1993).

A partir de estos trabajos se desarrollaron otros indicadores de carácter macroeconómico por un equipo multidisciplinar de la Escuela de Caminos y la Facultad de Geografía que dio lugar a indicadores multimodales de accesibilidad que permitieron analizar conjuntamente todas las redes. Estas investigaciones, desarrolladas conjuntamente con

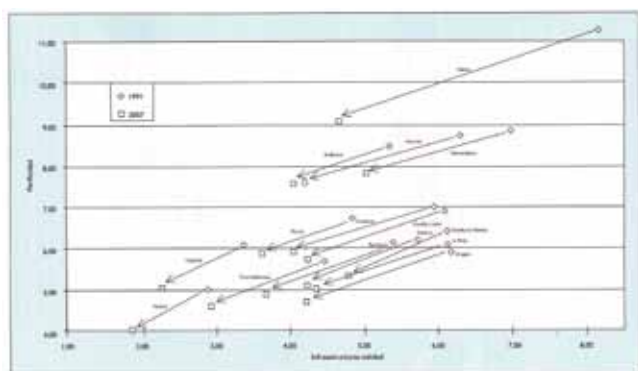


Fig. 3. Cambios en la perifericidad regional con las actuaciones del PDI 1991-2007

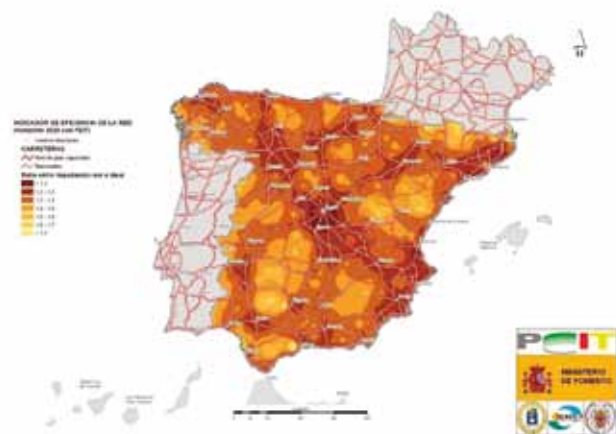


Fig. 4. Accesibilidad y eficiencia: impacto de las inversiones en carretera del PEIT

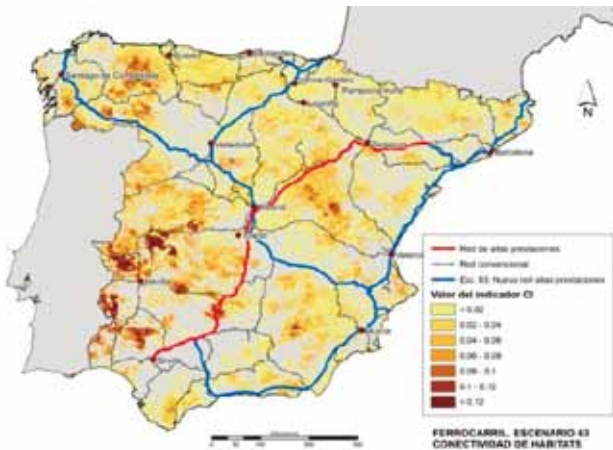


Fig.5. Analisis de la Conectividad de hábitats afectados por el PEIT

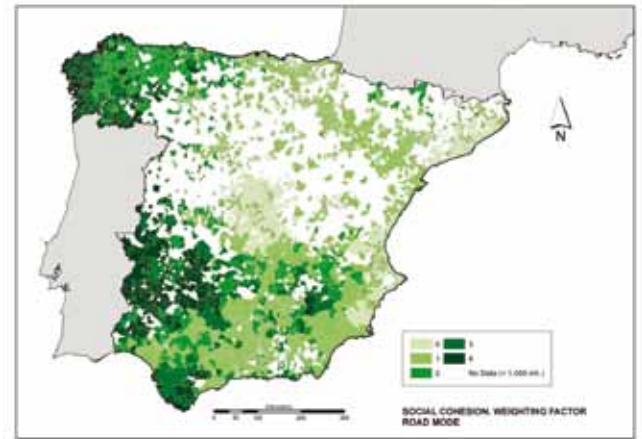


Fig.6. Efectos del PEIT sobre la cohesion social

Javier Gutiérrez y José María Piñero (Gutiérrez et al, 1998; Monzón et al, 1993) fueron publicadas y debatidas en foros científicos internacionales. A partir de estos trabajos, Hernando de Orellana desarrolló la tesis doctoral titulada Evaluación de las infraestructuras de transporte y sus efectos sobre el desarrollo regional mediante la aplicación de indicadores de accesibilidad (1994). Esta investigación desarrolló nuevos indicadores que asociaban la dotación de infraestructuras de todos los modos a las variables de desarrollo regional. Su aplicación a todas las regiones españolas permitía predecir con un elevado nivel de correlación la variación de los índices de desarrollo social y económico a medio-largo plazo en función de las inversiones en dotaciones de infraestructuras; un ejemplo es el análisis de los impactos del PDI medidos con el indicador de perifricidad regional que muestra la figura 3 (Orellana y Monzón, 1996).

4. Los Sistemas de Información Geográfica: un salto cualitativo en el análisis y mapificación de la accesibilidad

El desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica permitió mejorar los cálculos de los indicadores de accesibilidad, relacionarlos con otras capas de los SIG y lograr auténtica integración de factores territoriales (sociodemográficos, ambientales, renta) con las redes de infraestructuras y presentar los resultados de manera gerefenciada. Con la ayuda de estas herramientas se realizaron los estudios de accesibilidad del PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005-2020), por el antedicho equipo multidisciplinar de investigadores

de Caminos-Geografía. De particular interés e impacto resultaron los proyectos para la ampliación de la red AVE que ha producido un cambio sustancial en la accesibilidad ferroviaria. La figura 4, tomada del documento PEIT, muestra algunos de los trabajos realizados.

El cálculo de los indicadores de accesibilidad de tipo socioeconómico y su interacción con otras variables territoriales dio lugar a las tesis doctorales de Emilio Ortega y Elena López. Así, se utilizaron indicadores de accesibilidad para analizar los impactos sobre el medio natural de las infraestructuras, como por ejemplo el caso de la Figura 5 referido a la conectividad de hábitats, y otros trabajos relativos a la evaluación ambiental estratégica (Ortega et al, 2012).

Asimismo los indicadores de accesibilidad de tipo eficiencia permiten analizar conjuntamente la calidad de las redes y de su uso, por lo que resultan aptos para análisis de sostenibilidad (López y Monzón, 2010). Estos trabajos analizan los impactos de las infraestructuras sobre las tres dimensiones de la accesibilidad. A modo de ejemplo, la figura 6 presenta los impactos de tipo social, concretamente cómo las inversiones en carreteras del PEIT modifican la cohesión social, y dónde se producen los efectos más importantes.

Otra aplicación de los indicadores de accesibilidad de tipo eficiencia es el análisis de efectos de desbordamiento (*spillovers*). Las infraestructuras tienen efectos directos en la zona donde se construyen pero también afectan a las relaciones de dicha zona con el resto. Analizando las



Fig.7. Spillovers de las inversiones PEIT en la Comunidad Valenciana

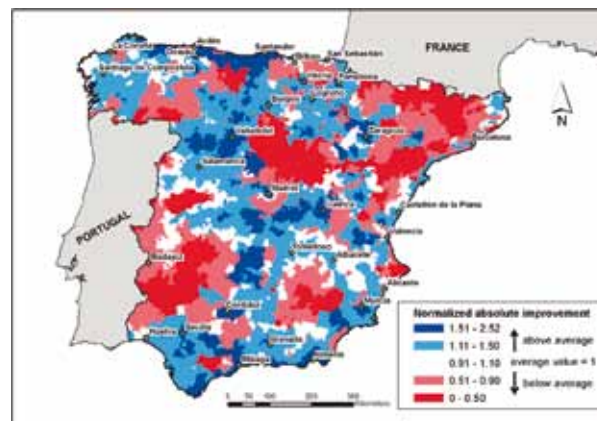


Fig.8. Impacto de la red AVE del PEIT sobre la accesibilidad a núcleos urbanos

diferencias en el indicador de eficiencia se puede calcular la importancia de los efectos de las inversiones en una region sobre otras y su intensidad. Así, la figura 7 recoge los efectos *spillover* de las inversiones PEIT en la Comunidad Valenciana, que están ligados a las relaciones económicas y de proximidad de dicha comunidad con el resto.

5. Accesibilidad a los Nodos de transporte: Impactos metropolitanos

Pero los Sistemas de Información Geográfica permitían relacionar dos escalas de análisis: la accesibilidad a escala local (acceso a las redes) con la aportada por dichas redes de comunicación a larga distancia. Así dependiendo de la localización relativa al núcleo urbano de las estaciones AVE, la calidad de las prestaciones de los servicios ferroviarios de alta velocidad se podrían ver modificadas de manera notable. La figura 8 analiza cómo se verán afectadas las principales ciudades con las actuaciones que estaban previstas en el PEIT.

También se estudió el problema desde el ángulo contrario: cómo el acceso a las estaciones AVE desde el área servida por cada estación condiciona de manera grave la mejora de accesibilidad apartada por los servicios de alta velocidad de larga distancia. En otras palabras, la dificultad de acceso a la estación puede suponer, en algunos casos, un peso negativo que haga que la comunicación AVE de larga distancia resulte no competitiva con el viaje alternativo en vehículo privado. La figura 9 muestra uno de los trabajos, presentados en el Seminario NECTAR de Accesibilidad de 2014. En él se aprecia cómo el peso

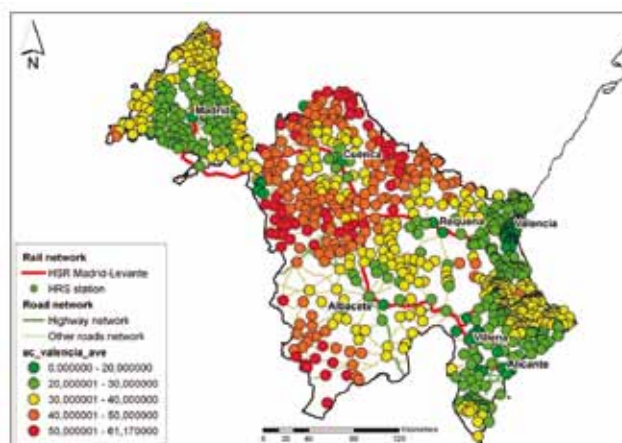


Fig. 9. Efectos del tiempo de acceso en origen y destino sobre la accesibilidad potencial en la línea AVE Madrid-Levante

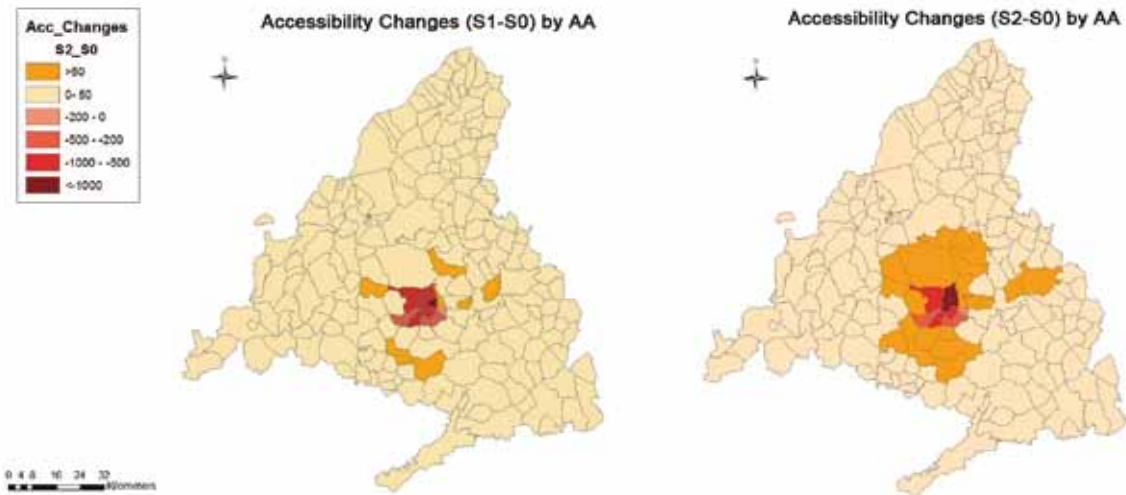


Fig. 10. Efectos sobre la equidad de varios escenarios para la aplicación de un peaje cordón en la M-40 de Madrid

del acceso a la estación presenta efectos disuasorios en Cuenca, en mayor medida que Albacete, y donde pesa menos en las zonas más pobladas: Madrid y Valencia.

6. Accesibilidad y Equidad de las políticas de transporte.

En los apartados precedentes se hace referencia a la accesibilidad como herramienta de planificación de las infraestructuras de transporte y de sus impactos económicos, territoriales y sociales. Sin embargo, también pueden aplicarse a la evaluación de políticas de transporte: control de acceso, peajes, mejora de las redes de transporte público, etc.

Este enfoque aplicado fue utilizado en la tesis desarrollada por Yang Wang en 2014, dedicada a analizar mediante modelos de tipo estratégico –tipo LUTI– los efectos a largo plazo de determinadas políticas de transporte. Se definió un nuevo indicador de Accesibilidad Adaptativa

que consideraba el factor de competencia entre destinos. Su formulación fue la siguiente:

$$AA_t = \sum_j G_j * W_j * F(t_{ij}, c_{ij})$$

siendo W_j y $F(t_{ij}, c_{ij})$ la atracción del destino j y el coste generalizado respectivamente, y G_j el grado de competencia para atraer viajes de la zona j .

Así se pudieron determinar la localización geográfica y la intensidad de los efectos sobre la equidad en el caso de que aplicara un peaje de cordón en la M-40 de Madrid. La figura 10 presenta los resultados de la aplicación de un peaje de cordón solamente (S1) y conjuntamente con un aumento de las frecuencias de los servicios de autobús (S2) respecto a la situación sin aplicar ninguna medida (S0).



7. Conclusiones

Este breve recorrido de tres décadas sobre lo que eran y lo que son los indicadores de accesibilidad en el transporte muestran que la aguda visión de Rafael Izquierdo que le permitió adivinar la importancia que tendrían en la planificación, tanto de las infraestructuras como de las políticas de transporte.

Lo que en los años 80 se apuntaba como algo novedoso, ha pasado a ser elemento obligado en cualquier estudio de planificación del transporte. El desarrollo de las capacidades de cálculo de los computadores y el desarrollo de las herramientas de visualización y de cálculo relacional de capas de información georeferenciada han supuesto el impulso definitivo y generalización de los estudios de

accesibilidad. Estos desarrollos permiten realizar análisis conjunto de múltiples variables a nivel macro –escala regional, nacional o continental– y también estudios micro a nivel local sobre localización de servicios o paradas de los sistemas de transporte.

Los indicadores de accesibilidad permiten, como se ha visto, realizar estudios no sólo de planificación de transporte, sino de tipo económico, ambiental o social, siempre con el valor añadido de la localización de los impactos mediante mapas de alta calidad. Sirven no sólo a los técnicos planificadores, sino que suponen una herramienta que posibilita los procesos de participación pública, y permiten transmitir una información visual, fácil de interpretar, a los decisores políticos. **ROP**

Referencias

- Geurs, K.T., Wee, B. van (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography* Vol.2, 127-140.
- Gutiérrez, J., Monzón, A., Piñero, J.M. (1988). Accessibility, network efficiency, and transport infrastructure planning. *Environment and Planning A*, Vol. 30, pp. 14. Pion, Londres, 1999
- Gutiérrez, J., Condeço-Melhorado, A., López, E., Monzón, A. Evaluating the European added value of TEN-T projects: a methodological proposal based on spatial spillovers, accessibility and GIS. *Journal of Transport Geography*, vol. 19, nº 4. Pp: 840-850. ISSN: 0966-6923. Julio 2011.
- Izquierdo, R. (1996). El Consulado de Santander y el impulso de las obras públicas. Una referencia al Camino de la Rioja 1785-1829. 223 pp. Autoridad Portuaria de Santander.
- Izquierdo, R. y Monzón, A. (1992). La accesibilidad a las redes de transporte como instrumento de evaluación de la cohesión económica y social. *TTC, Transport y Comunicaciones*, MOPT, nº 56, Mayo-Junio.
- Izquierdo, R. y Monzón, A. (1993). Accessibility as a planning and regional development objective (capítulo del libro: *TRANSPORT GROWTH IN QUESTION*), pp. 231-271. CEMT, París, 1993.
- Keeble, D. et al. (1987). Peripheral regions in a community of twelve. D.G. Regional Policy. CEE.
- López, E., Ortega, E., y Condeço-Melhorado, A. M. (2009). Análisis de impactos territoriales del Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005-2020: cohesión regional y efectos desbordamiento. *Información Comercial Española*, ICE: *Revista de Economía*, (848), 159-172.
- López, E. y Monzón, A. (2007) *Assessment of Transport Infrastructure Plans: a Strategic Approach integrating efficiency, cohesion and environmental aspects*. Tesis doctoral, ETSI Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid.
- López, E., Gutiérrez, J., y Gómez, G. (2008). Measuring regional cohesion effects of large-scale transport infrastructure investments: an accessibility approach. *European Planning Studies*, 16(2), 277-301.
- López, E., Monzón, A., Ortega, E., y Mancebo, S. (2009). *Assessment of Cross-Border Spillover Effects of National Transport Infrastructure Plans: An Accessibility Approach*. *Transport Reviews*, 29(4), 515-536.
- López, E. y Monzón, A. (2010). *Integration of Sustainability Issues in Strategic Transportation Planning: A Multi-criteria Model for the Assessment of Transport Infrastructure Plans*. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 25(6), 440-451
- Ministerio de Fomento (2005) *PEIT-Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005-2020*.
- Monzón, A. (1988) *La Accesibilidad Individual como elemento de evaluación en los Planes de Transporte de la Comunidad de Madrid*. *Informes de la Construcción*. Julio - Agosto 1988, pp. 18. Instituto Eduardo Torroja, CSIC, Madrid.
- Monzón, A. (1988) *Los Indicadores de Accesibilidad y la Planificación del Transporte: Concepto y Clasificación*. *Transportes, Turismo y Comunicaciones*, nº 35, pp. 7. MTTC.
- Monzón, A.; Piñero, J.M. y Gutierrez, J. (1993) *Accessibility level and regional equity in Spain related to the new multimodal transport plan 1993-2007*, pp.10, XXI PTRC Annual Meeting: *European Transport, Highways and Planning*. Manchester, PTRC Education and Research Ltd, Septiembre, 1993.
- Monzón, A., Ortega, E., López, E., 2013. Efficiency and spatial equity impacts of highspeed rail extensions in urban areas. *Cities* 30, 18-30.
- MOPU-Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (1985). *Plan General de Carreteras 1984-91*.
- MOPT-Ministerio de Obras Públicas y Transportes (1993). *Plan Director de Infraestructuras 1993-2007*
- Morris, J.M. et al. (1979) *Accessibility indicators for transport planning*. *Transportation Research A*, Vol. 13.
- Orellana Pizarro, H. y Monzón, A. (1996). *La Accesibilidad como instrumento de evaluación de infraestructuras de transporte. Análisis de las actuaciones del P.D.I. Estudios de Transporte y Comunicaciones*. Vol. 73., pp 17. Ministerio de Fomento, Madrid.
- Ortega, Emilio; López, Elena; Monzón, Andrés (2012). *Territorial cohesion impacts of high-speed rail at different planning levels*. *Journal of Transport Geography*, no. 24, pp. 130-141. ISSN: 0966-6923.
- RENFE (1987). *Plan de Transporte Ferroviario (PTF)*, Madrid.
- Turró, M. y Ulled, A. (1990). *Modelo de evaluación de la accesibilidad regional. Aplicación a la cuenca del Mediterráneo*. XVI Reunión de Estudios Regionales, AEER, San Sebastián.
- Wang, Yang; Monzon, Andrés y Di Ciommo, Florida (2014). *Assessing the accessibility impact of transport policy by a land-use and transport interaction model – The case of Madrid*. *Journal of Computers, Environment and Urban Systems* (2014). <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.03.005>