

# **Herramienta SIG para el análisis de los efectos de las actuaciones en infraestructuras de transporte sobre la accesibilidad territorial**

**Juan Carlos García Palomares**

Departamento de Geografía Humana, Universidad Complutense de Madrid

**Francisco Javier Calvo Poyo**

Departamento de Ingeniería Civil. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Granada

**Javier Gutiérrez Puebla**

Departamento de Geografía Humana, Universidad Complutense de Madrid

**Henar Salas Olmedo**

Departamento de Geografía Humana, Universidad Complutense de Madrid

**Borja Moya-Gómez**

Departamento de Geografía Humana, Universidad Complutense de Madrid

**Antonio M. Pérez Caba**

Departamento de Ingeniería Civil. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Granada

**Elisabet Cabrera Ruz**

Departamento de Ingeniería Civil. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos Universidad de Granada

## **RESUMEN**

En esta ponencia se presenta una herramienta creada en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para el análisis de los efectos de infraestructuras de transporte mediante indicadores de accesibilidad. La herramienta está integrada en el módulo ArcMap de ArcGIS 10.3. Permite calcular cuatro indicadores de accesibilidad (tiempo medio ponderado, indicador de potencial, indicador de eficiencia de la red y oportunidades disponibles). Se han implementado diferentes elementos a considerar en el cálculo de la accesibilidad, como la calibración del autopotencial o la sensibilidad a la velocidad “ideal” en el caso del indicador de eficiencia de la red. Esta herramienta es fruto de un proyecto de investigación para la Junta de Andalucía financiado por fondos FEDER, y ha sido testada con ejemplos que permiten analizar los impactos territoriales en Andalucía de distintas actuaciones en materia de transportes.

## **1. INTRODUCCION**

El concepto de accesibilidad expresa la facilidad con que las actividades pueden ser alcanzadas desde una localización dada y utilizando un determinado sistema de transporte. Trata por tanto de reflejar las oportunidades, disponibles para individuos y empresas, de alcanzar lugares donde realizar actividades que son importantes para ellos (Linneker y Spence, 1992). Un territorio es accesible cuando puede interactuar con un número

significativo de oportunidades (Hansen, 1959), por eso los espacios con buenas condiciones de accesibilidad son más atractivos para la inversión que aquellos en las que los costes de interacción son elevados, tanto para empresas como para la población.

Existe una gran variedad de indicadores para medir la accesibilidad. La mayor parte de las medidas de accesibilidad "*combinan el coste de transporte y la capacidad de atracción de los diferentes centros de actividad en un sólo indicador*" (Geertman y Ritsema van Eck, 1995). El coste de transporte es una medida de la impedancia o efecto de fricción de la distancia. Se suele expresar en unidades de distancia, tiempo o coste generalizado de transporte. Por su parte, la capacidad de atracción de los destinos se relaciona con su volumen de actividad económica. En función de los datos disponibles, se pueden utilizar distintos indicadores de atracción. Destacan la población, que refleja la accesibilidad a los consumidores, el empleo, que representa la accesibilidad a las actividades económicas o el producto interior bruto.

Otros elementos a considerar en la medida de la accesibilidad son: a) los orígenes considerados; b) el modo de transporte considerado; c) el calibrado de la curva de decaimiento de los flujos con el incremento de la distancia (distance decay) (Condeço et al, 2013); d) la distancia interna o autopotencial (Frost and Spence, 1995); e) el efecto borde, que tiene que ver con los problemas vinculados a la delimitación del área de estudio (Bruinsma y Rietveld, 1998) o a la presencia de límites administrativos tanto nacionales como sobre todo internacionales (Salas-Olmedo et al, 2016); f) la escala espacial (Gutiérrez, 1996); g) la dimensión temporal (Moya-Gómez y García, 2015); y h) el tipo de representación cartográfica (Ortega et al, 2011).

Para el cálculo y representación de la accesibilidad espacial, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas especialmente útiles (Ortega et al, 2011). Liu y Zhu (2004) señalan que la implementación de indicadores de accesibilidad en SIG permite integrar todas las fases necesarias en su análisis, desde la definición del problema y recogida de los datos, la especificación de las medidas, el cálculo de los indicadores en los módulos de redes y su representación cartográfica para la interpretación y evaluación.

En esta ponencia presentamos una herramienta para el cálculo y representación de la accesibilidad desarrollada en SIG. La herramienta considera todos los aspectos anteriores, integrando diferentes indicadores y la opción de análisis de sensibilidad a varios de sus parámetros. Se ha testado en Andalucía, evaluando distintos planes de actuación y a distintas escalas.

## **2. HERRAMIENTA SIG PARA EL CÁLCULO DE LA ACCESIBILIDAD.**

La herramienta creada se basa en scripts de Python a cuya interfaz se accede a través del módulo principal de ArcGIS ArnMAP. En consecuencia, para su uso es necesario disponer de los softwares ArcGIS, con licencia de la extensión de análisis de redes (*Network Analyst*),

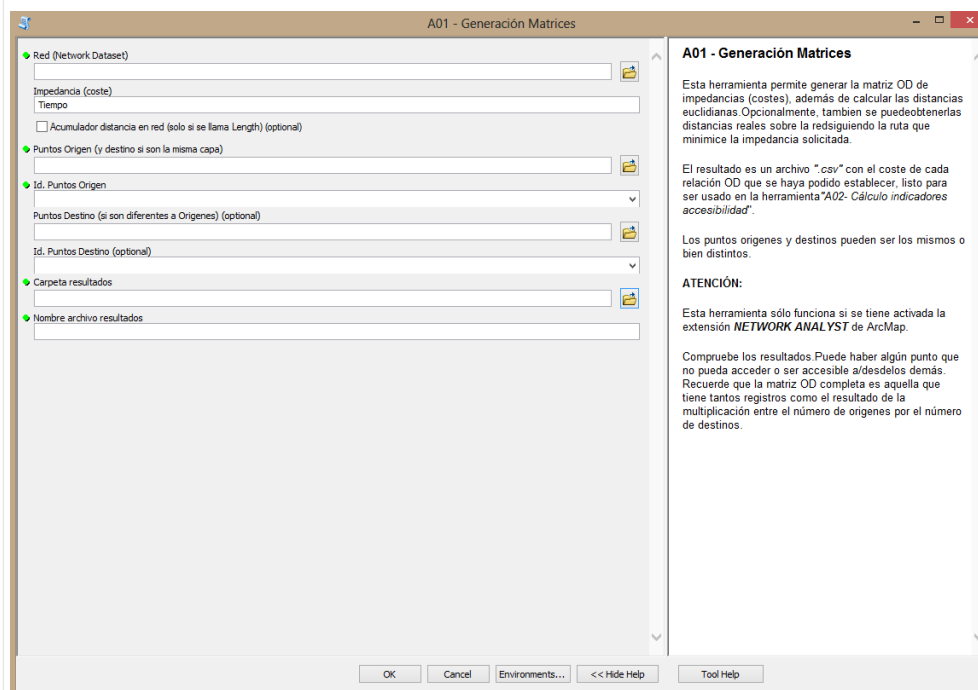
y Python. Junto a la herramienta principal, que integra el cálculo de los indicadores de accesibilidad, se han añadido dos más, que facilitan su uso. Las herramientas creadas finalmente son: *a)* Localización de puntos sobre la red; *b)* Generación de matrices OD; y *c)* Cálculo de indicadores de accesibilidad.

### 2.1 Localización de puntos sobre la red

Esta herramienta localiza los centroides de las zonas consideradas para el cálculo de la accesibilidad sobre la red analizada, siempre que estén dentro de un radio de 5.000 m. Como resultado de esta herramienta se obtiene la misma capa de puntos pero con todos ellos desplazados de tal forma que quedan situados sobre la red que se usará para el análisis.

### 2.2 Generación de matrices OD

Esta herramienta calcula la matriz OD (origen-destino) de mínimas impedancias (distancia, tiempo, coste generalizado de transporte, etc.) para cada relación OD entre los centroides de zonas. Se obtiene también la distancia euclidiana entre cada par de relaciones. Esa distancia es usada en el cálculo del indicador de eficiencia de la red. El resultado es una matriz OD, en formato *.csv*, que podrá ser introducida directamente en la siguiente herramienta de cálculo de indicadores de accesibilidad. En la siguiente figura se muestra la interfaz de esta herramienta:



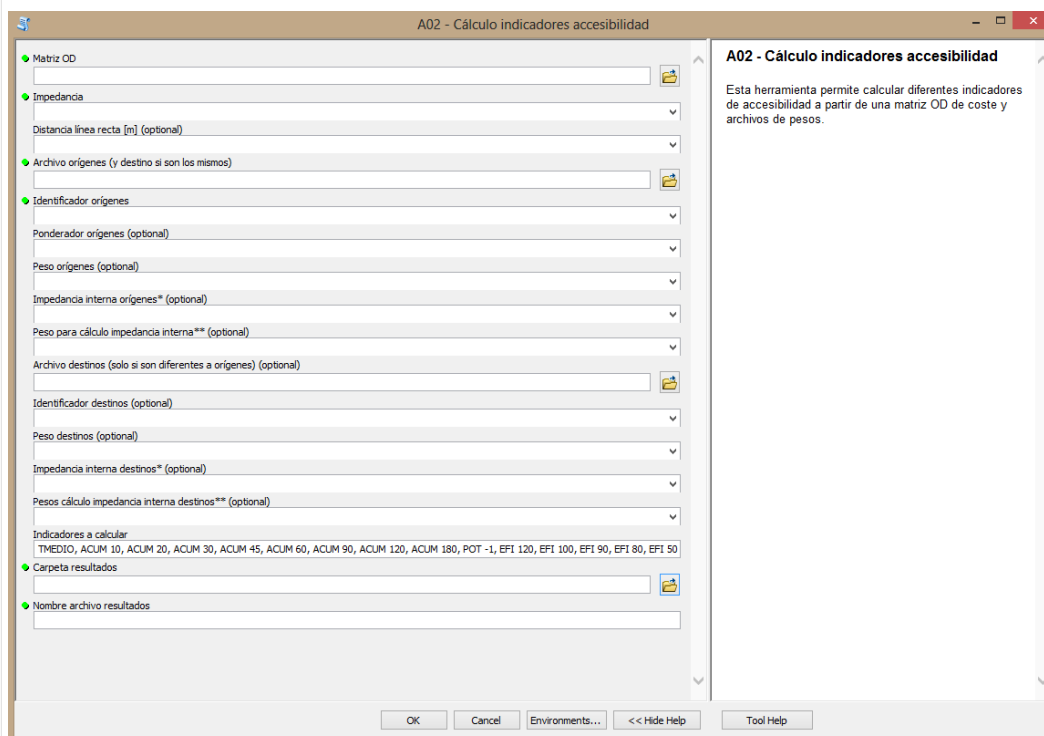
**Fig. 1 – Cuadro de diálogo de la herramienta de generación de matrices**

### 2.3 Cálculo de indicadores de accesibilidad.

Esta herramienta es la más importante. Calcula indicadores de accesibilidad para cada una de las zonas. Los indicadores que se han implementado son los siguientes:

- *Tiempo medio ponderado*: calcula el tiempo medio de acceso a todas las oportunidades dentro de un escenario, pudiéndolo ponderar o no por variables que representen la importancia de los destinos (por ejemplo la población, el empleo, PIB, etc.).
- *Oportunidades acumuladas*: calcula el número de oportunidades que se pueden alcanzar con ciertas unidades de impedancia. Por ejemplo, las oportunidades acumuladas en 30 minutos son el número de oportunidades que se alcanzan en trayectos de hasta (inclusive) 30 minutos (si la impedancia está expresada en minutos). Estas oportunidades son variables como las anteriores; población, empleo, etc.
- *Accesibilidad potencial*: El potencial económico es una medida de la proximidad o accesibilidad de un volumen dado de actividad económica a un determinado punto o región y puede ser interpretado como el volumen de actividad económica al que esa región tiene acceso, una vez que se ha considerado la distancia o tiempo de cubrir la separación a esa actividad.
- *Eficiencia de la red*: calcula la eficiencia de la red comparada con un escenario de viajes en distancia euclidianas a la velocidad que especifiquemos en km/h. Cuando la impedancia que escogemos es el tiempo, y queremos comparar el tiempo de la ruta real con el tiempo de la ruta realizada en línea recta, se debe especificar qué velocidad será asignada a la línea recta para poder así hallar el tiempo.

La interfaz de esta herramienta se muestra en la figura 2. El archivo de salida es una tabla en formato *csv* cuyos datos pueden ser fácilmente explotados y representados a través de ArcGIS.



**Fig. 2 – Cuadro de diálogo de la herramienta de cálculo de indicadores accesibilidad**

### 3. ALGUNOS EJEMPLOS DE APLICACIÓN

La herramienta desarrollada ha sido testada con ejemplos que permiten analizar los impactos territoriales en Andalucía de distintas actuaciones en materia de transportes. Se han analizado, los efectos del *Plan de Infraestructuras para la Sostenibilidad del Transporte en Andalucía* (PISTA 2007-2013) a nivel municipal, del *Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda* (PITVI, 2012-2024), poniendo aquí el acento en los impactos que tienen las actuaciones realizadas fuera de la región en la accesibilidad andaluza.

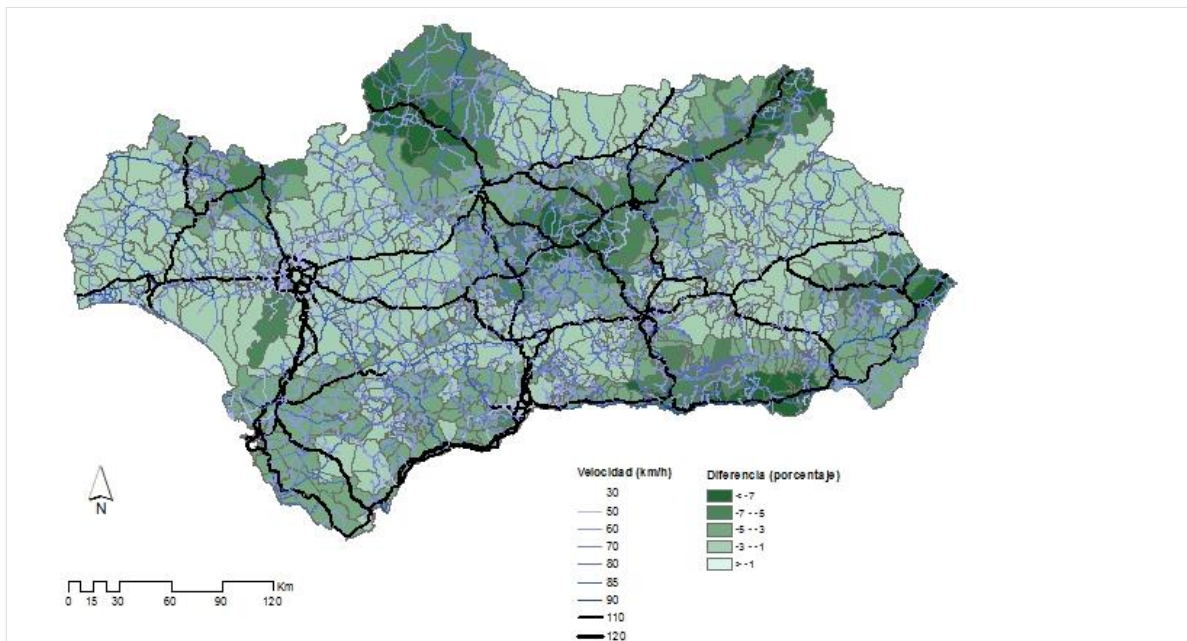
#### 3.1 Impactos del PISTA 2007-2013 en la accesibilidad

La Tabla 1 muestra los resultados globales de los cambios en la accesibilidad en Andalucía como consecuencia del PISTA en tres de los indicadores utilizados. Los resultados muestran una mejora de la accesibilidad entre un 2,5% en el indicador de potencial y del 3,5% en los tiempos medios. La cohesión territorial, entendida como una distribución espacial homogénea de la accesibilidad y que podemos medir con el coeficiente de variación, se incrementa tanto en los tiempos medios como en el indicador de potencial, pero se reduce en el indicador de eficiencia.

**Tabla 1 – Impacto de PISTA 2007-2013 en la accesibilidad en Andalucía**

		Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	CV
Tiempo Medio	Sin Pista	94,21	228,80	131,17	23,90	18,22
	Con Pista	91,10	210,33	126,47	22,05	17,43
	Cambios			-3,58%		-4,34 %
Potencial	Sin Pista	14345	52612	32762	6709	20,48
	Con Pista	15438	52975	33576	6640	19,77
	Cambios			2,48 %		-3,47 %
Eficiencia de la red	Sin Pista	1,23	2,74	1,48	0,13	8,93
	Con Pista	1,20	2,70	1,43	0,13	9,26
	Cambios			-3,18 %		3,64 %

La Figura 1 refleja los municipios en los que se han concentrado las mejoras en el período 2007-2013. Se representan los cambios porcentuales en los tiempos medios, pero todos los indicadores tienen pautas similares. Destacan las ganancias en accesibilidad experimentadas por el norte de la provincia de Córdoba. Estas mejoras se deben, principalmente, al efecto provocado por la construcción de la autovía Granada-Córdoba-Badajoz. En esta zona la ganancia de tiempo supera los 10 minutos, lo que supone una mejora superior al 7%.



**Fig. 3 – Cambios en el indicador de tiempo medio ponderado con PISTA**

### 3.2 Impactos del PITVI, 2012-2024

La Tabla 2 muestra los resultados globales de los cambios en la accesibilidad en Andalucía como consecuencia del PITVI. En este caso las mejoras de la accesibilidad son entre un 2,1% en el indicador de potencial y del 2,7% en la eficiencia de la red. A la vez, se ha evaluado también que parte de esas mejoras se deben a las infraestructuras construidas dentro y fuera de la región (Tabla 3). Puede verse como la mayor parte de los cambios se deben a las actuaciones realizadas en otras comunidades.

**Tabla 2 – Impacto de PITVI 2012-2024 en la accesibilidad en Andalucía**

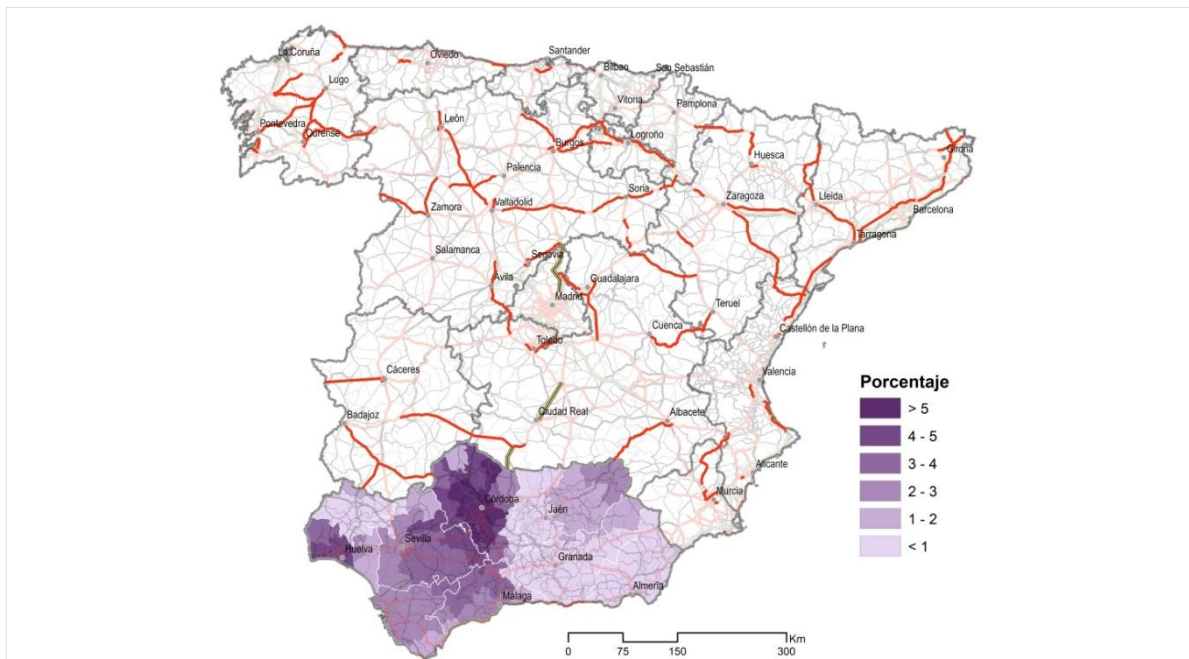
Indicador	Accesibilidad		Cambio	
	Sin PITVI	Con PITVI	Total	%
Tiempo medio	356,07	346,80	-9,26	-2,60
Potencial	71111	72616	1505	2,12
Eficiencia de la red	1,498	1,457	-0,041	-2,73

**Tabla 3 – Impacto de las actuaciones del PITVI 2012-2024 realizadas en otras comunidades en la accesibilidad en Andalucía**

Indicador	Sin PITVI	Con PITVI	Cambios		Con PITVI solo en Andalucía	Impacto PITVI fuera de Andalucía	
			Total	%		Total	%
Tiempo Medio	356,07	346,80	-9,26	-2,60	354,86	-8,06	-2,26
Potencial	71111	72616	1505	2,12	71532	1084	1,52
Eficiencia red	1,498	1,457	-0,041	-2,73	1,490	-0,033	-2,21

En la figura X se han cartografiado los impactos de esas actuaciones realizadas en otras comunidades. Los municipios del norte de la provincia de Córdoba son los que tienen las mejoras más importantes.





**Fig. 4 – Impactos en los tiempos medios ponderados (porcentuales) del PITVI construido fuera de Andalucía**

#### **4. CONSIDERACIONES FINALES**

En esta comunicación hemos presentado una herramienta para el cálculo y análisis de la accesibilidad territorial creada en un entorno SIG. Para testar su funcionamiento se han obtenido diferentes indicadores en todo el territorio andaluz, con el fin de evaluar el impacto del desarrollo de Planes de Infraestructuras. A modo de ejemplo se han mostrado los cambios antes y después de las actuaciones contempladas en el PISTA y el PITVI.

La herramienta permite trabajar a diferentes escalas y con distintos tipos de unidades territoriales. Así, el impacto del PITVI se ha analizado en las relaciones entre municipios andaluces. A esta escala, ha sido posible evaluar de forma diferenciada las actuaciones según la financiación, ya sea desde la Junta de Andalucía o desde el Estado. Mientras, con el PISTA, se ha trabajado con toda la península Ibérica y con zonas de transporte mayores a los municipios. En este caso ha sido posible conocer las mejoras en la accesibilidad de Andalucía como consecuencia de la construcción de vías en otras comunidades. Se han utilizado también cuatro tipos de indicadores de accesibilidad, que producen información complementaria, y los resultados se han evaluado desde la doble perspectiva de la eficacia (mejora global de la accesibilidad) y la equidad (descensos en las diferencias en el reparto de esa accesibilidad).

#### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen la financiación recibida de la Unión Europea a través del Proyecto “*Herramienta para análisis de efectos de infraestructuras a través de SIG e indicadores de accesibilidad*” (G-GI3003/IDID) del “Programa Operativo FEDER de Andalucía 2007-

2013”. Agradecemos también la ayuda recibida de la Consejería de Fomento y Vivienda de la Junta de Andalucía. María Henar Salas agradece la financiación del Ministerio de Economía y Competitividad de España a través de una Ayuda para la Formación Posdoctoral (FPDI 2013/17001) y Borja Moya al Ministerio de Economía y Competitividad de España a través de una Ayuda de Formación de Personal Investigador (BES-2012-055955) dentro del proyecto SPILLTRANS (TRA2011-27095).

## REFERENCIAS

- BRUINSMA, F., y RIETVELD, P. (1998). The accessibility of European cities: theoretical framework and comparison of approaches. *Environment and Planning A* 30, pp. 499-521.
- CONDEÇO, A., GUTIÉRREZ, J., Y GARCIA, J. C. (2013). Influence of distance decay on the measurement of spillover effects of transport infrastructure: a sensitivity analysis. *GeoFocus* 13(1) pp. 22-47.
- FROST, M. E., y SPENCE, N. A. (1995). The rediscovery of accessibility and economic potential: the critical issue of self-potential. *Environment and Planning A* 27, pp. 1833-1848.
- GEERTMAN, S. C. M. y RITSEMA, J. R. (1995). GIS and models of accessibility potential: an application in planning. *International Journal of Geographical Information Systems* 9, pp. 67-80.
- GUTIÉRREZ, J., GONZALEZ, R. y GÓMEZ, G. (1996). The European high-speed train network: Predicted effects on accessibility patterns. *Journal of Transport Geography* 4, pp. 227-238.
- HANSEN, W. G. (1959). How accessibility shapes land-use. *Journal of American Institute of Planners* 25, pp. 73-76.
- LINNEKER, B. J., y SPENCE, N. A. (1992). Accessibility measures compared in an analysis of the impact of the M25 London Orbital Motorway on Britain. *Environment and Planning A* 24, pp. 1137-1154.
- LIU, S. X., y ZHU. X. A. (2004). Accessibility Analyst: an integrated GIS tool for accessibility analysis in urban transportation planning. *Environment and Planning B* 31, pp. 105-124.
- MOYA-GÓMEZ, B., y GARCÍA-PALOMARES, J. C. (2015). Working with the daily variation in infrastructure performance on territorial accessibility. The cases of Madrid and Barcelona. *European Transport Research Review* 7(2), pp. 1-13.
- ORTEGA, E., MANCEBO, S., y OTERO, I. (2011). Road and railway accessibility atlas of Spain. *Journal of Maps* 7(1), pp. 31-41.
- SALAS-OLMEDO, M. H., GARCÍA, P., y GUTIÉRREZ, J. (2015). Accessibility and transport infrastructure improvement assessment: The role of borders and multilateral resistance. *Transportation Research Part A* 82, pp. 110-129.