
**XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica
25, 26 y 27 de Junio de 2014. Alicante.**

¿Son útiles las “métricas espaciales fragstats” para caracterizar entornos de movilidad urbanos?

A. Arranz^{a*}, J.A. Soria-Lara^b, F. Aguilera Benavente^c

^a*Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza*

^b*Amsterdam Institute for Social Science Research (AISSR). University of Amsterdam*

^c*Dpto. de Geología, Geografía y Medio Ambiente. Universidad de Alcalá de Henares*

Resumen

El objetivo de alcanzar una mayor sostenibilidad ambiental en la planificación del transporte urbano ha sido una de las principales razones del desarrollo de conceptos, métodos y herramientas orientadas a vincular de manera efectiva la estructura urbana y el sistema de transporte. En este contexto, surgen los “entornos de movilidad” como instrumentos integrados de planificación con éxitos notables en diferentes ámbitos escalares y contextuales.

Los “entornos de movilidad” son concebidos como unidades geográficas para la planificación y definidos por una triple componente: (i) estructura urbana o componente física; (ii) accesibilidad o componente móvil; (iii) interacción humana o componente social. La presente comunicación explora algunas de las herramientas para caracterizar la componente física o de estructura urbana, concretamente las métricas espaciales de ventana móvil, que son aplicadas sobre un conjunto de “entornos de movilidad” previamente definidos para el Área Metropolitana de Granada. La idoneidad de estas métricas para la caracterización espacial de los entornos se ha analizado mediante la determinación de la significación estadística de las diferencias de los valores obtenidos.

Los resultados han mostrado que entre las métricas utilizadas, la relativa a conectividad de espacios verdes es la que ha permitido discriminar mejor los “entornos de movilidad”. Por el contrario, las métricas relativas a la proximidad y diversidad de los usos urbanos presentan más dificultad para identificar con claridad las diferencias existentes entre unos

* E-Mail: arranz@unizar.es

“entornos de movilidad” y otros. Este hecho sugiere la necesidad de continuar profundizando sobre la relación entre las características espaciales de los “entornos de movilidad” y las métricas que pueden ser más idóneas para su identificación y posterior uso en la práctica diaria de la planificación.

Palabras clave: entornos de movilidad; conectividad de espacios verdes; sostenibilidad; planificación; metro ligero; área metropolitana.

1. Introducción

Al igual que en muchos otros campos de la planificación, la reducción de los impactos ambientales del transporte urbano se considera decisiva para alcanzar una mayor sostenibilidad en nuestras ciudades (Banister, 2005; Banister *et al.*, 2011; Litman, 2009). En este contexto, un gran número de académicos están de acuerdo en la necesidad de integrar de una manera efectiva estructura urbana y sistema de transporte (Banister, 2008; Miralles-Guasch & Domene, 2010; Silva & Pinho, 2011). A pesar de la riqueza de trabajos científicos en este campo, su aplicación en la planificación parece todavía lejana.

Para intentar paliar este hecho, han emergido conceptos de planificación como el de “entornos de movilidad”, que pretenden otorgar a la movilidad un papel central dentro del proceso de planificación. Inicialmente propuestos por Bertolini y Dijst (2003), los “entornos de movilidad” son entendidos como unidades geográficas sobre las que establecer pautas de planificación, definiéndose a partir de una triple dimensión: (i) estructura urbana o componente espacial; (ii) accesibilidad o componente móvil y (iii) interacción humana o componente social. La componente espacial de los “entornos de movilidad” es uno de los aspectos más estudiados, esencialmente en términos del efecto que la densidad y el tipo de actividades presentes produce sobre la movilidad motorizada (Cervero & Kockelman, 1997; Ewing & Cervero, 2001; 2012; Naess, 2009; Pitombo *et al.*, 2010). Sin embargo, la caracterización de la estructura urbana en lo que respecta a distribución y localización espacial de usos del suelo, ha sido tímidamente abordada. Entre otras razones, la dificultad de incorporar la dimensión espacial en la identificación de “entornos de movilidad” parece responder a la complejidad de los indicadores que se deberían usar para medir tales atributos, lo que ha podido limitar que hayan sido exploradas con anterioridad. Ante esta realidad, las métricas espaciales (spatial metrics, Herold *et al.*, 2003) podrían ser útiles para analizar y evaluar aspectos asociados a la estructura urbana de los “entornos de movilidad” como, por ejemplo, la proximidad entre los usos del suelo y su efecto sobre la movilidad no motorizada o la diversidad espacial como parámetro de planificación de la movilidad. No obstante, a pesar de la creciente vinculación de dichas métricas espaciales con contextos urbanos (Alberti & Marzluff, 2004; Alberti & Waddell, 2000; Berling-Wolf & Wu, 2004; Geoghegan *et al.*, 1997; Aguilera *et al.*, 2011), son muy escasos los trabajos que las asocian a contextos intraurbanos, como el que se presenta en esta comunicación. Este hecho suscita un especial interés en el ámbito científico de cara a estudiar el binomio “entorno de movilidad-métrica espacial”.

El objetivo de esta comunicación es profundizar en la aplicación de métricas espaciales y conocer su utilidad para medir la componente espacial de los diferentes “entornos de movilidad”. Para ello, se ha trabajado en los cuatro municipios más importantes del Área Metropolitana de Granada (AMG): Albolote, Armilla, Granada y Maracena, donde recientemente ha sido implantado un sistema de metro ligero en lo que sería el principal corredor de movilidad urbana y elemento estructurante de una nueva política de movilidad en la región (Valenzuela-Montes *et al.*, 2011).

2. Metodología, materiales, datos y herramientas

Para llevar a cabo el objetivo principal de la investigación se han utilizado cuatro “entornos de movilidad” previamente definidos por Soria-Lara (2011) en torno al trazado del sistema de metro ligero del AMG (Fig. 1):

- *Entorno de proximidad y alcance local*: hace referencia a los espacios donde la mayoría de sus flujos de movilidad se encuentran mediatizados por demandas locales y no motorizadas del entorno inmediato del corredor.
- *Entorno de proximidad y distribución circulatoria*: son aquellos lugares del corredor cuya movilidad no sólo tiene una fuerte dimensión local del medio urbano, sino que además actúan como distribuidores de tráfico motorizado entre diferentes lugares del corredor y entre éste y el resto del sistema urbano.
- *Entorno de circulación motorizada*: los lugares del corredor donde predomina el tránsito y/o circulación motorizada.
- *Entorno de centralidad metropolitana*: su movilidad se basa en una fuerte especialización urbana con uso industrial-tecnológico, equipamientos públicos y estaciones intermodales. Por ello se convierten en espacios de atracción y generación de flujos de movilidad tanto dentro como fuera del corredor.

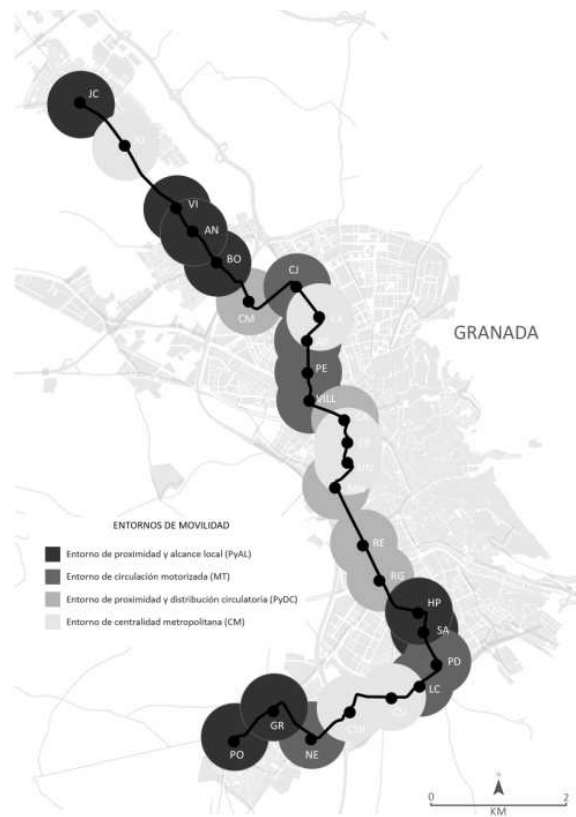


Fig. 1. Localización y rasgos característicos de los “entornos de movilidad” en el AMG.

Para analizar la estructura urbana de dichos entornos, se empleó cartografía de la Dirección General de Catastro con fecha de 2011, que ofrece un detalle a escala de parcela, adaptando la leyenda temática a las

necesidades propias de la investigación. El principal problema encontrado fue sintetizar la distribución vertical de usos del suelo en una cubierta de información con un único registro temático para cada una de las parcelas, fundamentalmente en el caso de zonas residenciales en altura con locales de tipo comercial en planta baja, que se codificaron como “residencial mixto”. La leyenda final se compone de los siguientes usos: residencial; residencial-mixto; industrial; equipamiento intermodal, deportivo, cultural, administrativo, sanitario, docente, comercial, zonas verdes y sin edificar.

El cálculo de las métricas espaciales se ha abordado en el *software* Fragstats (www.umass.edu). En cuanto al método de cálculo, Fragstats ofrece dos métodos: un valor único para cada tesela, categoría de leyenda o paisaje, o bien un análisis por ventana móvil (*moving window*) en el que se calcula el valor de la métrica en cada píxel en función de los valores de ocupación del suelo de los píxeles vecinos. Influenciados por las aportaciones realizadas desde autores destacados en este campo de trabajo (Gaucherel, 2007; Kong y Nakagoshi, 2006; Diaz-Varela et al, 2009; Yeh y Huang, 2009) se decidió como método más idóneo el uso de métricas espaciales de ventana móvil con el objetivo de obtener valores de las métricas para un ámbito intraurbano.

Los usos del suelo, disponibles en formato vectorial, fueron rasterizados para poder realizar el cálculo de las métricas espaciales en el *software* Fragstats con tamaños de píxel de 2, 5, 10, 20 y 25m, con el objetivo de seleccionar el tamaño más adecuado. Las pruebas se realizaron en el tramo central del trazado, ya que en él están representadas todas las categorías de la leyenda. En los tamaños de píxel de 2 y 5m de lado se comprobó que los usos del suelo eran correctamente cartografiados, pero el procesamiento de las métricas espaciales de ventana móvil era complejo, ya que se necesitaba un elevado tiempo de cálculo. Por el contrario, para los tamaños de 20 y 25m la velocidad de cálculo era adecuada, pero con ese tamaño de píxel, que en muchos casos superaba la distancia de las calles contenidas en el área de estudio, no existía un correcto cartografiado de los usos del suelo. De este modo, se optó por un tamaño de píxel intermedio de 10m de lado como el tamaño óptimo. Por otra parte, y con el fin de superar el denominado “efecto calle” se determinó que era necesaria una ventana móvil de al menos 208m de lado. Considerando este tamaño y el tamaño de píxel seleccionado, finalmente se optó por un tamaño de la ventana móvil de 300m de lado (Fig. 2).

En lo que respecta a las métricas seleccionadas, fueron los índices de proximidad y diversidad de usos del suelo y conectividad del espacio verde (Tabla 1). Una vez obtenidos sus resultados, con valores de las métrica para cada píxel en cada una de las estaciones, se aplicó el test estadístico no paramétrico U de Mann-Whitney para valorar la existencia de diferencias estadísticamente significativas en los resultados obtenidos (considerando un nivel de significación $p < 0,05$) para cada una de las estaciones correspondientes a los diferentes entornos movilidad. De este modo se podría convenir sobre la idoneidad de utilizar este tipo de métricas espaciales para la definición de la dimensión espacial de dichos entornos y viceversa.

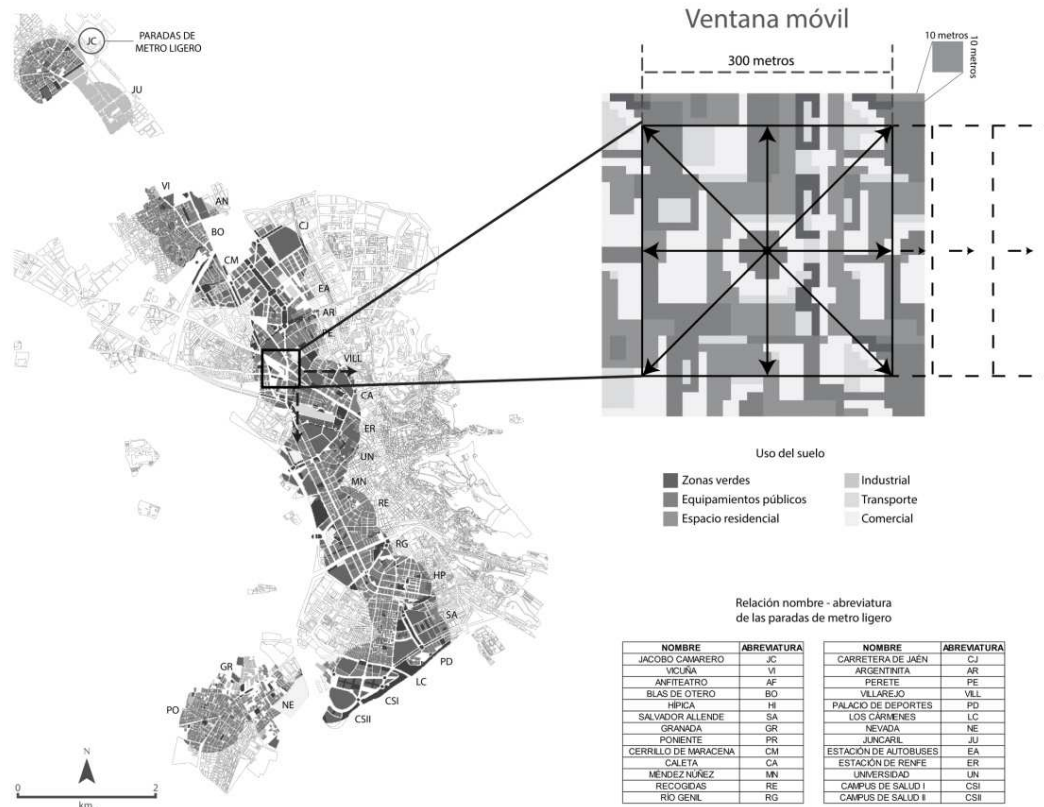


Fig. 2. Funcionamiento de la ventana móvil a lo largo del corredor de movilidad.

Tabla 1. Métricas seleccionadas para su aplicación en el área de estudio.

Atributo espacial	Métrica	Descripción	Unidades	Rango de valores
Proximidad	Índice de proximidad (PROX)	$PROX = \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2}$ donde a_{ijs} es el área (m) de cada mancha ijs dentro de una vecindad específica (m ²) de una mancha ij ; h_{ijs} es la distancia (m) entre la mancha ijs y la mancha ij , basado en la distancia borde a borde de cada mancha, contabilizada desde el centro del pixel.	No tiene	PROX ≥ 0. Su aumento indica un aumento de la proximidad entre los diferentes usos del suelo considerados
	Índice diversidad Shannon (SHDI)	$SHDI = -\sum_{i=1}^m (P_i * \ln P_i)$ donde P_i es la proporción de territorio ocupada por un determinado usos del suelo	No tiene	SHDI ≥ 0. Su aumento indica un aumento de la diversidad. Cuando SHDI = 0 significa que ese “entorno de movilidad” solo alberga un tipo de uso
Conectividad del espacio verde	Índice de agregación (AI)	$AI = \left[\frac{g_{ii}}{\max g_{ii}} \right] 100$ donde g_{ii} es el número de pixeles adyacentes para un mismo tipo de usos del suelo: g_{ii} es el número máximo de pixeles que podrían ser adyacentes en un entorno dado.	Porcentaje	AI tiene un rango de valores entre 0 y 100, siendo 100 la máxima agregación posible de un determinado uso del suelo y viceversa.

3. Resultados

Como resultado de la aplicación de la metodología de ventana móvil, se han obtenido los valores de las métricas espaciales seleccionadas para cada uno de los píxeles que conforman el entorno de las estaciones de metro ligero (Fig. 3). Extraídos todos los valores para cada estación y comprobado que la muestra no sigue una distribución normal, se han realizado dos tratamientos diferentes para estos datos (Tabla 2). Por un lado, se presenta la mediana de los valores de cada métrica para el conjunto de píxeles que conforman cada una de las estaciones; lo que ofrece una descripción de la variación de los resultados a lo largo de todo el trazado (izquierda). Por otro lado, se muestra la mediana del conjunto de píxeles que conforman cada “entorno de movilidad”, lo que permite comparar con un único valor unos “entornos de movilidad” respecto a otros (derecha).

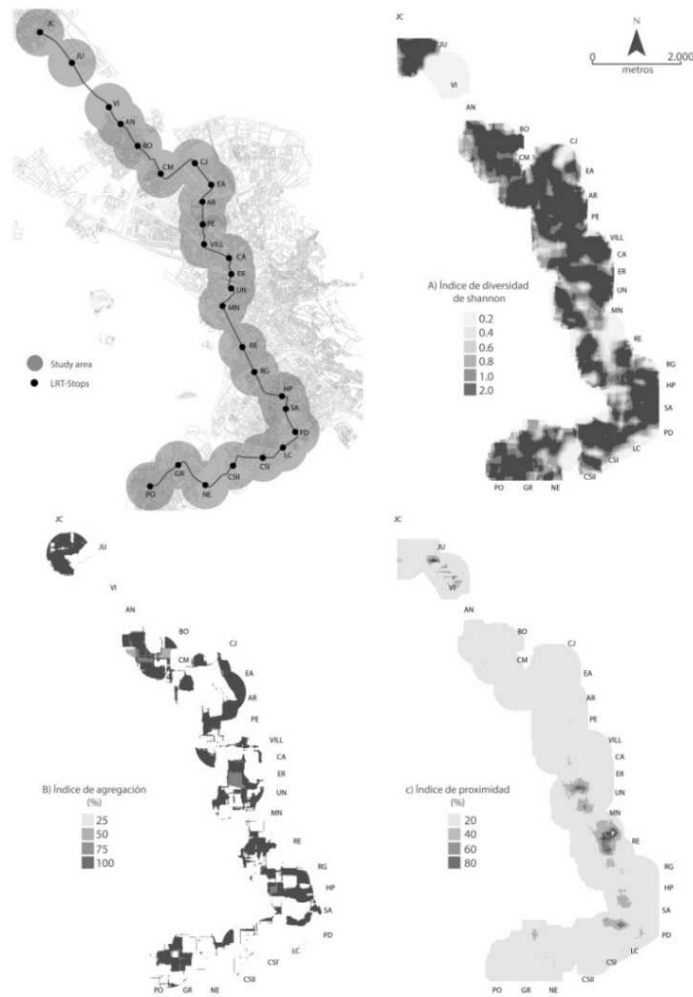


Fig 3. Representación cartográfica de los resultados de las métricas espaciales de ventana móvil en el corredor del AMG

Tabla 2. Resultados de las métricas espaciales en el corredor de movilidad de la AMG. A la izquierda valores medianos de las métricas en cada estación de metro ligero. A la derecha valores medianos para cada “entorno de movilidad”.

Parada	Prox	Shannon	Connect	Entorno de movilidad	PROX	SHDI	AI
JC	11.17	1.02	70.19	PyAL	9.39	1.04	73.06
JU	2.80	0.00	0.00	PyDC	13.43	0.93	77.85
VI	3.54	0.90	70.14	MT	7.06	1.10	81.03
AN	6.06	1.07	73.07	CM	9.49	0.98	75.28
BO	6.92	1.16	70.58				
CM	5.19	1.17	79.87				
CJ	6.41	1.10	82.25				
EA	6.92	1.30	73.28				
AR	6.40	1.36	81.03				
PE	7.06	1.20	78.94				
VILL	8.41	1.05	79.76				
CA	8.99	1.25	80.24				
ER	11.17	1.10	77.27				
UN	13.14	1.04	72.40				
MN	14.97	0.93	76.38				
RE	23.89	0.66	77.85				
RG	13.43	0.87	77.04				
HP	11.39	0.98	73.05				
SA	10.08	1.07	76.42				
PD	8.09	1.10	80.50				
LC	9.10	0.84	87.57				
CSI	7.82	0.91	88.40				
CSII	2.68	0.90	84.80				
NE	4.82	0.57	87.50				
GR	10.12	0.96	82.23				
PO	8.70	1.09	76.25				

En relación con los resultados obtenidos de cada métrica, el índice de proximidad permite apreciar que los valores obtenidos a lo largo del corredor de movilidad del AMG son coherentes con los cuatro “entornos de movilidad” utilizados. En este sentido, tanto el *entorno de proximidad y alcance local* como el *entorno de proximidad y distribución circulatoria* presentan valores más altos (con medianas de 9,38 y 13,43 respectivamente), lo que pone en relieve una mayor proximidad de los diferentes usos del suelo en estos entornos. Cobran especial interés los resultados obtenidos para aquellos tramos del corredor donde está ubicado el *entorno de proximidad y distribución circulatoria*, especialmente en el caso del tramo Recogidas (RE) que presenta el valor más alto de la métrica PROX (23,88). Este alto valor corresponde a la realidad del *entorno de la estación de metro ligero* de esta estación (RE), ya que es uno de los lugares con mayor riqueza de usos del suelo y donde la población residente puede generalmente solventar cualquier tipo de actividad diaria sin necesidad de utilizar transporte motorizado.

La métrica espacial de diversidad (SHDI) apenas muestra diferencias para cada uno de los “entornos de movilidad”. Una de las razones de este hecho podría ser la simplificación de usos del suelo en el eje vertical, que ha podido contribuir a su homogeneización y, por tanto, a disminuir su diversidad.

Por último, la métrica AI ofrece resultados sobre la conectividad de espacios verdes. En este caso, la distribución espacial de los valores obtenidos guarda una relación evidente con las características propias de los “entornos de movilidad”.

En la segunda parte de los resultados se exploró la existencia de diferencias estadísticas a un nivel de significación de 0,05 para cada una de las métricas espaciales utilizadas respecto de los 4 “entornos de movilidad” del AMG. Los resultados del estadístico U de Mann-Whitney (Tabla 3), muestran que no existen

diferencias estadísticamente significativas entre los entornos de movilidad para las métricas PROX y SHDI. Por el contrario, la métrica AI utilizada para medir la conectividad de espacios verdes, sí muestra diferencias estadísticamente significativas al comparar el *entorno de circulación motorizada* con el *entorno de proximidad y alcance local* (0,005) y con el *entorno de proximidad y circulación motorizada* (0,023), así como al comparar el *entorno de proximidad y alcance local* con el *entorno de proximidad y distribución circulatoria* (0,04). Además, aunque no a un nivel estadísticamente significativo, se encontraron diferencias importantes al comparar el *entorno de circulación motorizada* con el *entorno de centralidad metropolitana* (0,198). De esta forma, de las tres métricas utilizadas, AI es la que mejor discrimina los cuatro “entornos de movilidad” utilizados en el AMG.

Tabla 3. Resultados de la prueba U de Mann-Whitney. Diferencias estadísticamente significativas fueron consideradas con $p < 0.05$.

	PyAL	PyDC	CM	CMp
PROX				
Entorno de proximidad y alcance local (PyAL)				
Entorno de proximidad y distribución circulatoria (PyDC)	0,187			
Entorno de circulación Motorizada (CM)	0,247	0,08		
Entorno de centralidad metropolitan (CMp)	0,518	0,465	0,317	
SHDI				
Entorno de proximidad y alcance local (PyAL)				
Entorno de proximidad y distribución circulatoria (PyDC)	0,66			
Entorno de circulación Motorizada (CM)	0,487	0,807		
Entorno de centralidad metropolitan (CMp)	0,698	1	0,475	
AI				
Entorno de proximidad y alcance local (PyAL)				
Entorno de proximidad y distribución circulatoria (PyDC)	0,04			
Entorno de circulación Motorizada (CM)	0,005	0,023		
Entorno de centralidad metropolitan (CMp)	0,401	0,583	0,198	

4. Conclusiones y discusión

La línea de investigación que se explora en este trabajo se encuentra todavía en una fase inicial, pero puede considerarse una aproximación novedosa y escasamente abordada en el ámbito académico. Cabe concluir que los resultados obtenidos son esperanzadores respecto al uso de las métricas espaciales para definir “entornos de movilidad” y extender su uso al ámbito intraurbano. No obstante, son necesarias nuevas y profundas investigaciones para determinar cuáles son las métricas espaciales más adecuadas y en qué grado pueden complementar a variables tradicionalmente utilizadas en la identificación de “entornos de movilidad”.

De manera preliminar, los resultados muestran el potencial que las métricas espaciales tienen en la identificación de “entornos de movilidad”. De las tres métricas utilizadas (PROX, SHDI y AI), sólo el índice de agregación permite discriminar los 4 “entornos de movilidad” utilizados como áreas piloto.

Desde el punto de vista metodológico, hay algunas cuestiones que suscitan el interés de futuras investigaciones. En primer lugar, la búsqueda de una aproximación a la resolución del problema de la distribución vertical de usos del suelo, por la observada influencia en el índice de Shannon. En segundo lugar, es necesario reflexionar sobre la utilidad del estadístico de mediana. Se ha observado, por ejemplo, que el índice SHDI es muy sensible a la variación de usos, de modo que al obtener como valor representativo de

cada estación una medida de centralidad, las posibles diferencias entre estaciones se hayan minimizado y por ello no arroje diferencias estadísticamente significativas. Finalmente, es necesario profundizar sobre la selección de otras métricas espaciales más adecuadas para identificar “entornos de movilidad” como la riqueza de usos del suelo o índices de agregación y dispersión de usos del suelo.

Referencias

- Aguilera, F., Valenzuela, L. M., y Botequilha-Leitão, A. (2011). Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns: A case study in a Spanish metropolitan area. *Landscape and Urban Planning*, 99(3), 226-238.
- Alberti, M., y Marzluff, J. (2004). Ecological resilience in urban ecosystems: linking urban patterns to human and ecological functions. *Urban Ecosystem*, 7, 241-265.
- Alberti, M., y Waddell, P. (2000). An integrated urban development and ecological simulation model. *International Assessment*, 1, 215-227.
- Banister, D. (2005). *Unsustainable transport: City transport in the new century*. London, Routledge.
- Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport policy*, 15, 73-80.
- Banister, D., Anderton, K., Bonilla, D., Givoni, M., y Schwanen T. (2011). Transportation and the Environment. *Annual Review Environmental Resources*, 36, 247-270.
- Berling-Wolf, S., y Wu, J. (2004). Modelling urban landscape dynamics: a case study in Phoenix, USA. *Urban Ecosystem*, 7, 215-240.
- Bertolini, L. y Djist, M. (2003). Mobility environments and network cities. *Journal of Urban Design*, 8 (1), 27-43.
- Cervero, R. y Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity and design. *Transportation Research*, 2, 199-219.
- Díaz-Varela, E., Álvarez-López, C. y Marey-Pérez, M.P. (2009). Multiscale delineation of landscape planning units based on spatial variation of land-use patterns in Galicia, NW Spain. *Landscape Ecological Engineering*, 5, 1-10.
- Ewin, R. y Cervero, R. (2001). Travel and built environment: a synthesis. *Transportation Research Record*, 1780, 15-35.
- Gauchere, C. (2007). Multiscale heterogeneity map and associated scaling profile for landscape analysis. *Landscape and Urban Planning*, 82(3), 95-102.
- Geoghegan, J., Wainger, L.A. y Bockstael, N.E. (1997). Spatial landscape indices in a hedonic framework: an ecological economics analysis using GIS. *Ecological Economics*, 23, 251-264.
- Herold, M., Liu, X., y Clarke, K. C. (2003). Spatial metrics and image texture for mapping urban land use. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(9), 991-1002.
- Kong, F. y Nakagoshi, N. (2006). Spatial-temporal gradient analysis of urban green spaces in Jinan, China. *Landscape and Urban Planning*, 78(3), 147-164.
- Litman, T. (2009). *Developing indicators for comprehensive and sustainable transport planning*. Victoria Transport Policy Institute. Victoria (Canada).
- McGarigal, K., Cushman, S., y Neel, M. (2012). FRAGSTATS v4: spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts. Disponible en: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- Miralles-Guasch, C., y Domene, E. (2010). Sustainable transport through modal change: the case of the Autonomous University of Barcelona. *Transport Policy*, 17, 454-463.
- Naess, P. (2009). Residential self selection and appropriate control variables in land use: travel studies. *Transport Reviews*, 29 (3), 293-324.
- Pitombo, C.S., Kawamoto, E. y Sousa, A.J. (2010). An exploration analysis of relationships between socioeconomic, land use, activity participation variables and travel patterns. *Transport Policy*, 18, 347-357.
- Silva, C. y Pinho, P. (2010). The Structural Accessibility Layer (SAL): Revealing how urban structures constrains travel choice. *Environment and Planning A*, 42, 2735-2752.
- Soria-Lara, J. A. (2011). *Modelo de umbrales para la evaluación ambiental de la movilidad urbana*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.
- Yeh, C. T. y Huang, S. L. (2009). Investigating spatiotemporal patterns of landscape diversity in response to urbanization. *Landscape and Urban Planning*, 93(3), 151-162.