

PARTE 1 | QUESTÕES URBANAS

# Métodos para el análisis de patrones de movilidad no motorizada

---

UNIVERSIDAD DE CUENCA – ECUADOR

Daniel Orellana

## Introducción

La movilidad es uno de los problemas más complejos a los que se enfrentan las ciudades intermedias de Latinoamérica. Factores como la extrema dispersión urbana, la baja calidad del transporte público, el precio del uso del suelo, la percepción de inseguridad, entre otros, han provocado un explosivo aumento del uso del auto privado como principal medio de transporte, aumentando el tráfico en la ciudad, profundizando la contaminación ambiental y los problemas de salud, afectando la calidad del espacio urbano, y en último término deteriorando la calidad de vida de los ciudadanos (CLÉMENT, 1995; VALIANT; ROUGHGARDEN, 2010). Este escenario exige repensar el modelo de movilidad de las ciudades antes de alcanzar un punto de no retorno. No existe receta única que permita resolver el tema de la congestión, y sobre todo lo que la provoca: la dependencia en el automóvil (DUPUY, 2011; FIGUEROA, 2005). No obstante, se ha demostrado repetidamente que una de las herramientas para reducir esta dependencia, es la de implementar y fomentar el uso de transporte público y la movilidad no motorizada. Sin embargo, en los modelos actuales basados en el transporte en auto privado, los ciclistas y peatones son considerados como actores secundarios de la movilidad. En diversas investigaciones se ha identificado que uno de los factores limitantes para la densificación urbana sostenible es precisamente la falta de acceso a redes de transporte alternativo al auto privado.

Varias ciudades intermedias de la región, entre ellas Cuenca (Ecuador), se encuentran actualmente generando planes integrales de movilidad donde por primera vez se considera la movilidad peatonal y en bicicleta como un componente clave. Sin embargo, no existe un conocimiento lo suficientemente profundo sobre el comportamiento espacial de los usuarios de movilidad no motorizada y su relación con el espacio público. Efectivamente, se requiere mucha más investigación sobre la movilidad urbana en la región (KEELING, 2013). Dicho conocimiento es de vital importancia para la administración pública, en especial para los procesos de construcción de políticas de movilidad sostenible, la toma de decisiones sobre inversión, la planificación del espacio público y las estrategias de promoción de la movilidad no motorizada.

Uno de los retos para construir conocimiento sobre la movilidad de las personas es la obtención de información sobre su comportamiento espacial. Las técnicas tradicionales consistentes en matrices de Origen-Destino y encuestas de uso no incluyen información sobre el recorrido detallado, los tiempos de traslado, los patrones espaciales y temporales. Los avances tecnológicos, tales como la popularización de los dispositivos móviles, la integración de tecnología de geo-posicionamiento, o los sistemas de video-vigilancia representan un inmenso potencial de datos para estudios sobre movilidad; sin embargo, su calidad, disponibilidad y requerimientos de pre-procesamiento, y aplicabilidad en ciudades intermedias de la región no han sido aún estudiadas. Además, se requieren nuevas técnicas de recolección de datos primarios que sean rápidos, con un alto ratio de costo-efectividad, detallados y replicables, de manera que los gestores de movilidad puedan diseñar e implementar estudios longitudinales y sistemas de monitoreo. Finalmente, el análisis de datos de movilidad requiere de nuevos enfoques metodológicos que permitan explorar, extraer e interpretar patrones de comportamiento espacial de las personas y relacionarlos con sus características sociodemográficas. Recientes estudios muestran que este conocimiento resulta crucial para la toma de decisiones sobre políticas y gestión de la movilidad sostenible y para la planificación y construcción de espacios urbanos sostenibles. Este reto solo puede ser abordado desde una perspectiva multidisciplinar que integre la geografía, el urbanismo y la arquitectura, la psicología social y las ciencias de la computación, lo que implica de por sí un enfoque innovador.

Para asumir el reto de aportar a la comprensión del comportamiento espacial en la movilidad no motorizada como un sistema complejo, un enfoque multidisciplinar resulta imprescindible. Es así que hemos propuesto la construcción de un marco analítico que permita incorporar bases teóricas y metodológicas provenientes de diversas disciplinas y áreas científicas para el análisis de los patrones de movimiento de las personas. Aunque en este trabajo nos centraremos en peatones y ciclistas, en muchos casos puede ser extrapolable a otros tipos de movilidad. El desarrollo de dicho marco está conducido por tres ejes de investi-

gación: A) *Eje Metodológico* enfocado en el diseño de un conjunto de metodologías, herramientas y plataformas tecnológicas para la recolección, análisis y visualización de datos de movilidad no motorizada; B) *Eje Conductual*: enfocado en el estudio del comportamiento espacial de los patrones de movilidad de las personas y su relación con el entorno urbano; y C) *Eje Perceptual*: que se centra en el estudio de las percepciones que las personas tienen sobre el entorno y sobre sí mismos en relación a su forma de movilidad.

El marco propuesto se basa en la premisa de que los patrones de movimiento humano son evidencia de las interacciones espaciales entre tres tipos de "agentes": el *individuo*, el *colectivo* y el *entorno* (ORELLANA; RENSO, 2010). Esta premisa tiene algunas implicaciones importantes: Por un lado, reconoce una diferencia fundamental entre el movimiento individual y el colectivo siendo el segundo una propiedad emergente del primero. Por otro lado, el entorno es considerado un agente, es decir una parte activa del sistema en lugar de un mero telón de fondo en el cual sucede el movimiento. Finalmente, la implicación más importante es que al estudiar los patrones de movimiento humano podemos mejorar nuestro conocimiento sobre la forma en la que las personas se relacionan con su entorno. Al ser un sistema de interacciones, el movimiento es considerado un sistema dinámico adaptativo, donde los agentes transforman y son transformados por las decisiones de otros agentes, y el resultado presenta "propiedades emergentes" que raramente son predecibles si se mira cada agente por separado. En este documento, profundizaremos en el Eje Metodológico.

## Desarrollo

La necesidad de entender la movilidad humana en la ciudad ha atraído gran interés de los investigadores de varias áreas. Desde el trabajo seminal de Hagerstrand quien desafió en 1970 la hipótesis de que las personas son individuos autónomos que toman decisiones espaciales según su libre albedrío y que en cambio estas decisiones están limitadas por una serie de restricciones espaciales y temporales (HÄGERSTRAND, 1970), la investigación sobre la relación entre el espacio urbano y el movimiento ha mostrado un creciente interés que se ha fortalecido en la última década. Por un

lado, se han realizado varias investigaciones sobre el comportamiento espacial de las personas y su relación con el entorno natural y construido; entre el comportamiento recreacional, la naturaleza y el espacio público (VAN MARWIJK, 2009), la aparición de relaciones emergentes entre el comportamiento espacial y el diseño de parques urbanos (GOLIČNIK; WARD THOMPSON, 2010), mientras que otra línea de investigación busca las posibles aplicaciones del conocimiento sobre el comportamiento espacial para la planificación de infraestructuras (LARSEN; PATTERSON; EL-GENEIDY, 2013), la planificación de transporte (DAA-MEN, 2004), la gestión de emergencias (HELBING, JOHANSSON; LÄMMER, 2008; WOLFSON, 2002), la gestión de áreas naturales recreativas (ORELLANA; BREGT; LIGTENBERG; WACHOWICZ, 2012), la movilidad no motorizada (MILAKIS; ATHANASOPOULOS, 2014) y el estudio de la eficiencia de conductores de taxis urbanos (LIU; ANDRIS; BIDERMAN; RATTI, 2010). En (SAELENIS; SALLIS; FRANK, 2003) se explora la relación entre variables ambientales y sociodemográficas y se concluye que las características de los barrios son relevantes para diferentes tipos de movilidad, además mencionan que la evidencia sugiere que los habitantes de barrios con mayor densidad, conectividad y mixticidad de usos tienden a utilizar más la movilidad en bicicleta o peatonal. Uno de los aportes seminales sobre la relación entre movimiento y la configuración espacial es la propuesta teórica y metodológica de Sintaxis Espacial propuesta por investigadores del University College of London, donde se propone que existe una correlación específica entre el comportamiento espacial y algunos aspectos de la configuración topológica y visual del espacio (GREENE; MORA; KRISTEN; WURMAN, 2007; B HILLIER; PENN; HANSON; GRAJEWSKI; XU, 1993; BILL HILLIER, 2007), y las características de la red vial (AXHAUSEN, 2007). Es interesante notar que la mayoría de estas investigaciones se han realizado principalmente en ciudades de Europa y Estados Unidos, y en menor grado en ciudades asiáticas, mientras que aún desconocemos su aplicación y extrapolación a ciudades latinoamericanas.

Otra línea de investigación que ha mostrado un rampante aumento de interés es el estudio de las nuevas fuentes de datos para el análisis de movili-

dad. Algunos autores se han centrado en estudiar la potencialidad de los dispositivos móviles, tales como GPS, bluetooth, smartphones, tablets y prendas de vestir inteligentes (ASHBROOK; STARNER, 2003; GIPS, 2006; LEE-GOSSELIN; DOHERTY; SHALABY, 2010), otros han explorado la utilización de bases de datos masivas de redes de comunicación celular (GONZALEZ; HIDALGO; BARABASI, 2008), redes sociales (AZMANDIAN; SINGH; GELSEY; CHANG; MAHESWARAN, 2013; WANG ; TAYLOR, 2014), y repositorios de fotografía (JANKOWSKI; ANDRIENKO; ANDRIENKO; KISILEVICH, 2010). Aunque existe un gran potencial en dichas fuentes de datos, aún no existen protocolos metodológicos para su análisis, por lo cual muchos autores han propuesto diferentes técnicas basadas en análisis espacial (ORELLANA; WACHOWICZ, 2011), minería de datos (BOGORNY; HEUSER; ALVARES, 2010; GIANNOTTI; NANNI; PINELLI; PEDRESCHI, 2007; VERHEIN; CHAWLA, 2008), análisis visual exploratorio (ANDRIENKO; ANDRIENKO, 2008; RINZIVILLO *et al.*, 2008), entre otros. Pese a la diversidad de técnicas propuestas, aún no existe un acuerdo generalizado sobre la pertinencia de técnicas específicas para cada caso y aún existen problemas en la integración de diferentes fuentes y métodos (OLIVER; BADLAND; MAVOA; DUNCAN; DUNCAN, 2010). Más aun, todavía no existen protocolos generales que puedan ser aplicados en un amplio rango de situaciones con fines comparativos que hayan sido probados en ciudades intermedias de Latinoamérica. Por otro lado, la mayoría de estas propuestas han venido desde campos particulares de las ciencias de la computación y la geo-información, con poca interacción con otras disciplinas, lo cual ha causado importantes limitaciones en la interpretación y generalización de los resultados obtenidos a través de estas técnicas (ORELLANA; RENSO, 2010). Finalmente, otra línea de investigación relacionada con esta propuesta se ha enfocado en los efectos físicos, psicológicos y perceptuales de las diferentes modalidades de movilidad. Por ejemplo, en (SAELENIS *et al.*, 2003) se explora la relación entre variables ambientales y sociodemográficas y se concluye que las características de los barrios son relevantes para diferentes tipos de movilidad, además mencionan que la evidencia sugiere que los habitantes de barrios con mayor densidad, conectividad y mixticidad de

usos tienden a utilizar más la movilidad en bicicleta o peatonal.

La mayor parte de estudios realizados, se han centrado solamente en metodologías "tradicionales" de las ciencias sociales, tales como estudios de caso, entrevistas, encuestas, conteos, etc. Hoy en día, la sinergia entre las tecnologías de geo-posicionamiento y dispositivos móviles, ha abierto una nueva gama de potenciales fuentes de información. Se necesitan, por lo tanto, nuevos métodos y técnicas de análisis de esta información para producir conocimiento sobre la movilidad de las personas y su interacción con el entorno. La investigación sobre estos enfoques es una nueva línea de investigación que en todo el mundo está produciendo resultados prometedores. La necesidad de entender la movilidad no motorizada (activa) no cuenta con un marco analítico de investigación que permita obtener información y dar respuestas a las cuestiones fundamentales de los planificadores, como por ejemplo: ¿Dónde construir infraestructura para bicicletas? ¿Cuales son las características de las personas que utilizan este tipo de movilidad? ¿Cuales son las rutas más utilizadas por los ciclistas y peatones? ¿Cuales son las razones por las que escogen dichas rutas? ¿Cuales son las condiciones que harían a las personas cambiar su forma de movilidad?

En el marco analítico, el eje metodológico integra tres componentes I) Recolección de datos, II) Generación de información, y III) Integración de conocimiento. Estos componentes pueden ser representados en un espacio continuo donde aumenta el nivel de integración y el nivel de diferenciación en un flujo de complejidad creciente (Figura 1), siguiendo la propuesta de representación de Bellinger (2004). Este enfoque permite enfrentar la complejidad del fenómeno de la movilidad a través de un proceso iterativo de exploración – diferenciación – integración, donde en un primer momento se generan datos sobre movilidad, luego se exploran y construyen relaciones entre estos datos para producir información y finalmente se exploran y estudian los patrones emergentes en dicha información. De esta manera es posible gestionar el conocimiento sobre movilidad desde casos puntuales hacia niveles más generales y menos dependientes del contexto.

**Figura 1** Esquema conceptual de construcción de conocimiento



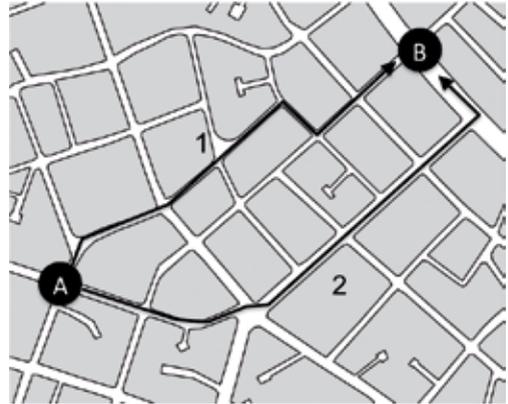
**Fuente** Adaptado de Bellinger, 2004

A continuación describimos un ejemplo de aplicación de este enfoque como parte del proyecto de investigación "Estudio de los Patrones de Movilidad de Ciclistas y Peatones – Pies y Pedales" del grupo de investigación LlactaLAB – Ciudades Sustentables de la Universidad de Cuenca.

La pregunta de investigación planteada es ¿Cuáles son las variables que afectan la decisión de ruteo de las personas que se movilizan en bicicleta en la Ciudad de Cuenca? Para responder esta pregunta se ha planteado una metodología que permite seguir el esquema propuesto de generación de conocimiento. La metodología incluye tres estudios que incluyen componentes observacionales, experimentales y participativos.

Un primer estudio observacional consiste en monitorear el movimiento de un grupo de voluntarios utilizando dispositivos GPS. Cada voluntario lleva consigo un dispositivo durante dos períodos de dos semanas cada uno. El registro se realiza de forma automática cada 10 segundos y luego los datos son descargados y almacenados en una base de datos geográfica. El proceso de generación de información inicia con un análisis exploratorio de datos espaciales (ESDA) que permite explorar, encontrar y entender las relaciones entre esos datos en un primer proceso de integración y diferenciación que relaciona los datos entre sí y con el contexto geográfico. Esto

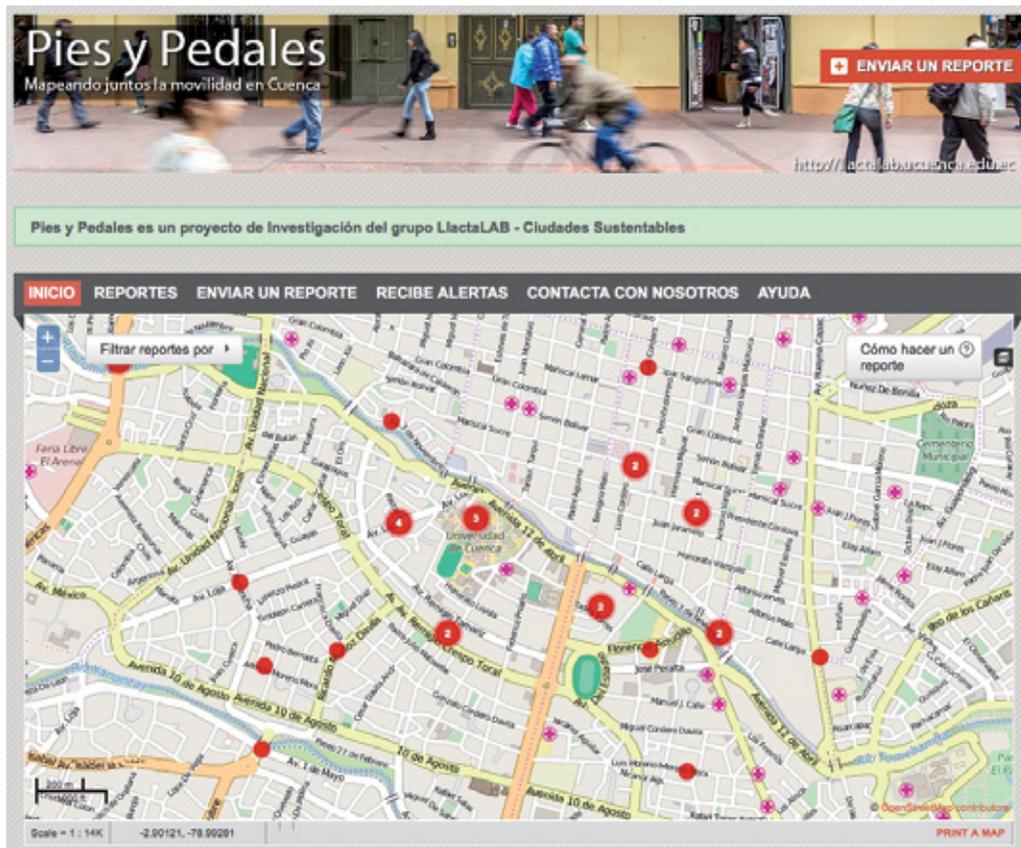
**Figura 2** Ruta óptima (1) y ruta real (2) seguidas por una persona entre dos puntos de la ciudad



permite transformar los datos en información sobre los orígenes y destinos de los viajes, las rutas seguidas y sus características geométricas, físicas, ambientales y perceptuales, las modalidades utilizadas, y los períodos de movimiento y de pasividad. En último término, la integración de conocimiento se realiza encontrando patrones en la información. Para esto, se comparan las rutas seguidas por los participantes con rutas óptimas modeladas con sistemas de información geográfica y se exploran potenciales patrones en dichas diferencias. Finalmente se correlacionan las posibles variables que expliquen las diferencias entre las rutas reales y las rutas óptimas. Los resultados son validados con los voluntarios durante una entrevista semi-estructurada.

Un caso concreto que permite ejemplificar el estudio es que el sujeto X viaja diariamente del punto A al punto B. Aunque la ruta 1 es la ruta más corta en distancia y tiempo, el sujeto utiliza generalmente la ruta 2 (Figura 2). Al analizar las dos rutas se encuentra que los valores de variables del entorno urbano son diferentes (por ejemplo la ruta 2 presenta más arbolado y mayor presencia de actividad comercial). Estas diferencias se repiten para otras rutas y otros sujetos, existiendo por lo tanto un *patrón* en la relación entre el comportamiento espacial y las variables del entorno urbano.

Figura 3 Prototipo de plataforma web para el mapeo participativo de percepciones de movilidad



En un segundo estudio de tipo experimental, a cada voluntario se le asigna una serie de localizaciones a visitar en la ciudad en un período de 5 horas. Cada voluntario es libre de seleccionar la ruta que desee y el orden de visita, siempre y cuando visite todos los puntos. El movimiento se registra de igual manera con dispositivos GPS y los datos son almacenados en la misma base de datos. De igual manera se estudia las diferencias entre las rutas reales y las rutas óptimas para encontrar las potenciales relaciones entre las variables del entorno y el comportamiento espacial. La distribución de los sitios a visitar se realiza de tal manera que las posibles rutas a seguir tengan un máximo diferencial en dichas estas variables. Al igual que en el caso anterior, los resultados son validados con los participantes utilizando técnicas de entrevistas semi-estructuradas.

En un tercer estudio se utiliza una aproximación de *crowdsourcing* para realizar un mapeo colaborativo sobre las percepciones de movilidad en la ciudad. Para esto se desarrolla una plataforma web basada en el software Ushahidi con un mapa de la ciudad en la que los participantes pueden subir datos sobre los problemas de movilidad que identifican en la ciudad. Los datos son agregados tanto en la dimensión geográfica como en la dimensión temática, permitiendo así encontrar relaciones espaciales en dichas percepciones. Utilizando tanto técnicas de análisis de discurso como técnicas de autocorrelación y *clustering* se detectan patrones en la información generada, permitiendo estudiar las posibles relaciones de estos patrones con los elementos estructurales de la ciudad (Figura 3).

## Conclusiones

La movilidad es un fenómeno complejo y dinámico que requiere una aproximación multidisciplinaria para su estudio. En este documento hemos presentado los elementos para un marco analítico multidisciplinario para el estudio de la movilidad no motorizada. El marco propuesto está compuesto por tres ejes: Metodológico, Comportamental y Perceptual, y hemos profundizado en el eje metodológico a través de un esquema conceptual que permite ordenar la creciente complejidad en un continuo de datos – información – conocimiento. Además, hemos mostrado con tres ejemplos concretos la aplicación de este esquema conceptual dentro de un proyecto de investigación de movilidad no motorizada en la ciudad de Cuenca.

## Agradecimientos

El presente trabajo se enmarca dentro del proyecto "Estudio de los patrones de movilidad de ciclistas y peatones para una movilidad sustentable – Pies y Pedales", financiado por la Universidad de Cuenca. El autor agradece la colaboración de los miembros del equipo del proyecto quienes han dado sustanciales aportes para esta investigación.

## Referencias

- ANDRIENKO, G.; ANDRIENKO, N. A. Visual Analytics Approach to Exploration of Large Amounts of Movement Data. In: SEBILLO, M.; VITIELLO, G.; SCHAEFER G. (Eds.). **Visual Information Systems**. Barcelona: 10th International Conference, 2008. p. 1–4.
- ASHBROOK, D.; STARNER, T. Using GPS to learn significant locations and predict movement across multiple users. **Personal and Ubiquitous Computing**, v. 7, n.5, p. 275–286, 2003.
- AZMANDIAN, M.; SINGH, K.; GELSEY, B.; CHANG, Y.-H.; MAHESWARAN, R. Following Human Mobility Using Tweets. In: CAO, L.; ZENG, Y.; SYMEONIDIS, A. L.; GORODETSKY, V. I.; YU, P. S.; SINGH M. P. (Eds.), **Agents and Data Mining Interaction**. Budapest: 9th International Workshop, 2013. p. 139–149.
- BELLINGER, G. **Knowledge Management**. 2004. Disponible en: <<http://www.systems-thinking.org/kmgmt/kmgmt.htm>>. Acceso en: 1 dec. 2015.
- BOGORNÝ, V.; HEUSER, C.; ALVARES, L. O. A. Conceptual Data Model for Trajectory Data Mining. In: FABRIKANT, S. I.; REICHENBACHER, T.; VAN KREVELD, M.; SCHLIEDER, C. (Eds.), **Geographic Information Science**. Zurich: 6th International Conference, GIScience 2010, 2010. v. 6292, p. 1–15.
- CLÉMENT, L. La conjecture de MJH Mogridge: test sur l'agglomération de Lyon. **Les Cahiers Scientifiques Du Transport**, n. 30, p. 51-64, 1995.
- DUPUY, G. **Towards Sustainable Transport: The Challenge of Car Dependence**. 2nd ed. Nantes: John Libbey Eurotext, 2011.
- FIGUEROA, O. Transporte urbano y globalización: Políticas y efectos en América Latina. **EURE**, Santiago, v. 31, n. 94, p. 41–53, 2005.
- GIANNOTTI, F.; NANNI, M.; PINELLI, F.; PEDRESCHI, D. Trajectory pattern mining. In: ACM SIGKDD INTERNATIONAL CONFERENCE ON KNOWLEDGE DISCOVERY AND DATA MINING, 13., 2007, San Jose-USA. **Anales...** New York: ACM, 2007. p. 330–339.
- GIPS, J. **Social motion: Mobile networking through sensing human behavior**. 2006. 65 f. Dissertação (Master of Science in Media Arts and Sciences) - Program in Media Arts and Sciences, School of Architecture and Planning, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2006.
- GONZALEZ, M. C.; HIDALGO, C. A.; BARABASI, A.-L. Understanding individual human mobility patterns. **Nature**, v. 453, n. 7196, p. 779–782, 2008.
- HÄGERSTRAND, T. What about people in Regional Science?. **Papers in Regional Science**, v. 24, n.1, p. 6–21, 1970.
- JANKOWSKI, P.; ANDRIENKO, N.; ANDRIENKO, G.; KISILEVICH, S. Discovering Landmark Preferences and Movement Patterns from Photo Postings. **Transactions in GIS**, v. 14, n. 6, p. 833–852, 2010.
- KEELING, D. J. Transport research challenges in Latin America. **Journal of Transport Geography**, v. 29, p. 103–104, 2013.
- LEE-GOSSELIN, M.; DOHERTY, S. T.; SHALABY, A. Data Collection on Personal Movement Using Mobile ICTs: Old Wine in New Bottles? In: WACHOWICZ, M. (Ed.) **Movement-Aware Applications for Sustainable Mobility**. New York: Information Science Reference, 2010.
- OLIVER, M.; BADLAND, H.; MAVOA, S.; DUNCAN, M.; DUNCAN, J. Combining GPS, GIS, and Accelerometer

metry: Methodological Issues in the Assessment of Location and Intensity of Travel Behaviors. **Journal of Physical Activity and Health**, v. 7, n. 1, p. 8-102, 2010.

ORELLANA, D.; RENSO, C. Developing an Interactions Ontology for Characterising Pedestrian Movement. In: WACHOWICZ, M. (Ed.) **Movement-Aware Applications for Sustainable Mobility**. New York: Information Science Reference, 2010.

ORELLANA, D.; WACHOWICZ, M. Exploring Patterns of Movement Suspension in Pedestrian Mobility. **Geographical Analysis**, v. 43, n. 3, p. 241-260, 2011.

RINZIVILLO, S.; PEDRESCHI, D.; NANNI, M.; GIANNOTTI, F.; ANDRIENKO, N.; ANDRIENKO, G. Visually-driven analysis of movement data by progressive clustering. **Information Visualization**, v. 7, n.3/4, p. 225-239, 2008.

SAELENS, B. E.; SALLIS, J. F.; FRANK, L. D. Environmental correlates of walking and cycling: Findings from the transportation, urban design, and planning literatures. **Annals of Behavioral Medicine**, v. 25, n. 2, p. 80-91, 2003.

VALIANT, G.; ROUGHGARDEN, T. Braess's Paradox in large random graphs. **Random Structures & Algorithms**, v. 37, n. 4, p. 495-515, 2010.

VAN MARWIJK, R. **These routes are made for walking: understanding the transactions between nature, recreational behaviour and environmental meanings in Dwingelderveld National Park, the Netherlands**. Wageningen: Wageningen University, 2009. p. 260.

VERHEIN, F.; CHAWLA, S. Mining spatio-temporal patterns in object mobility databases. **Data Mining and Knowledge Discovery**, v. 16, n. 1, p. 5-38, 2008.

WANG, Q.; TAYLOR, J. E. Massive Online Geo-Social Networking Platforms and Urban Human Mobility Patterns: A Process Map for Data Collection. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 2014, Orlando. **Anales...** Orlando: 2014. p. 1586-1593.