

Tecnologías CDR y teléfonos inteligentes para la captura de datos de movilidad*¹

CDR and Smartphones technologies to capture mobility data

CDR e Smartphones para capturar dados de mobilidade

JORGE ENRIQUE QUEVEDO REYES², LUIS ALFREDO VEGA BÁEZ³,
IVÁN FERNANDO FONSECA BARINAS⁴

Recibo: 20.08.2016 – Aprobación: 18.05.2017

Resumen: *El desarrollo de modelos y planes de transporte requieren de gran cantidad de información que se obtiene generalmente de la realización de aforos, la revisión de indicadores nacionales como locales, y la aplicación de encuestas domiciliarias origen y destino. Sin embargo, la elaboración de modelos de transporte, con la cobertura, las variables y la calidad que los procesos de planificación requieren, demanda grandes esfuerzos para los investigadores, así como la inversión de altos recursos económicos, que limitan la frecuencia con la que se deben realizar*

* Modelo para la citación de este artículo / Template for citation of this article / Modelo para a citação deste artigo:

QUEVEDO REYES, Jorge Enrique; VEGA BÁEZ, Luis Alfredo & FONSECA BARINAS, Iván Fernando (2017). Tecnologías CDR y teléfonos inteligentes para la captura de datos de movilidad. En: Ventana Informática No. 36 (ene-jun). Manizales (Colombia): Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales. p. 53-67. ISSN: 0123-9678

1 Artículo de reflexión / Reflection article / Artigo de reflexão

Proyecto / Project / Projeto: Reconocimiento de la actividad humana con datos obtenidos de teléfonos inteligentes aplicado a estudios de movilidad y transporte / Recognition of human activity with data obtained from smart phones applied to studies of mobility and transport / Reconhecimento de dados do smartphone atividade humana aplicada a estudos de mobilidade e de transporte [Tesis de Magister en Tecnología Informática, por el tercer autor, con dirección de los dos primeros / Thesis of Magister in Computer technology, by the third author, under the direction of the first two / Magister tese em informática, pelo terceiro autor, dirigiú os dois primeiros]

Periodo / Period / Período: 20.01.2016–10.11.2016

Institución / Institution / Instituição: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja, Boyacá, Colombia).

2 Magister en Ingeniería de Sistemas y Computación / Master in Systems Engineering and Computing / Magister em Computação e Engenharia de Sistemas. Docente / Teacher / Professor, Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja, Boyacá, Colombia). jorge.quevedo@uptc.edu.co

3 Doctor en Ingeniería e Infraestructura de los Transportes / Doctor in Transport Engineering and Infrastructure / Doutor em Engenharia e Infra-estrutura dos Transportes. Docente / Teacher / Professor, Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja, Boyacá, Colombia). luis.vega@uptc.edu.co

4 Magister en Tecnología Informática / Magister in Information Technology / Magister em Tecnologia da Informação. Docente / Teacher / Professor, Escuela de Ingeniería de Sistemas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; Desarrollador web Hive Analytics Group (Tunja, Boyacá, Colombia). ivanfernando.fonseca@uptc.edu.co

de al menos cada 10 años. El trabajo describe las metodologías, participantes, instrumentos, así como los beneficios y limitaciones que presenta el uso de tecnologías WiFi, GPS, CDR, en torno a la complejidad para recolectar datos de movilidad, reduciendo los costos y en los tiempos recomendados.

Palabras clave: *Teléfonos inteligentes, Datos de movilidad, Ciudades inteligentes, Origen y destino, Minería de datos*

Abstract: *Model development and transportation plans requires great amount of information that comes generally from to the fulfillment of capacity, national and local indicators review and the origin and the destination household surveys application. However, the elaboration of transportation models with coverage, variables and the quality which planning processes require, demand great efforts for both researchers and the high economic resources investment. These tend to limit the frequency with which has to be carried out at least every 10 years. The following work describes the methodologies, participants, instruments, as well as the benefits and limitations when using technology, WiFi, GPS, CDR, around the complexity to collect mobility data, in order to reduce costs and suggested times.*

Keywords: *Mobile phone traces, Smart cities, Origin-Destination, data mining.*

Resumo: *O desenvolvimento do modelo e planos de transporte requer uma grande quantidade de informação que é geralmente obtida a partir de avaliações que realizam a revisão dos indicadores nacionais e locais, e implementação de origem pesquisas domiciliares e de destino. No entanto, a modelagem do transporte com cobertura, variáveis e processos de planejamento de qualidade exigem grandes esforços para investigadores e os investimentos dos recursos económicos elevados, o que limita a frequência com que eles são realizadas pelo menos a cada 10 anos. Este artigo descreve as metodologias, os participantes, instrumentos, bem como os benefícios e as limitações do uso da tecnologia, WiFi, GPS, CDR, em torno do complexo de recolher mobilidade de dados, reduzindo os custos e os tempos recomendados.*

Palavras-chave: *telefones inteligentes, dados de Mobilidade, Cidades Inteligentes, origem e destino, Data Mining.*

Introducción

La toma de decisiones para el desarrollo de proyectos de transporte, a nivel operacional, táctico y estratégico, requiere el desarrollo de estudios que describen la situación actual de cada uno de los elementos que definen la movilidad en las ciudades. Dada la necesidad de obtener datos que sirven como insumo para la realización de estos estudios con una mayor frecuencia, menores costos y con la calidad exigida en los procesos. Desde los grupos de investigación GIDPOT y GIMI de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, se realiza la revisión y análisis de estudios que involucran el uso de instrumentos de base tecnológica que sirven como complemento a la captura de indicadores de la encuesta domiciliaria origen destino.

Destacando la masificación de tecnologías móviles en Colombia⁵, el uso de tecnologías móviles, haciendo referencia en este trabajo al uso de teléfonos inteligentes, sensores, CDR y WiFi, se presenta como una fuente de información complementaria a la encuesta de movilidad. Teniendo como beneficios la calidad de los datos y la disminución del tiempo para obtener la información, que incluso puede ser en tiempo real, según afirman Mednis et al. (2011, 6).

Dentro de los diferentes estudios encontrados se menciona el uso de dispositivos móviles, en el que los sensores como el GPS, acelerómetro, brújula entre otros, junto con arquitecturas de software, algoritmos y metodologías obtienen resultados como: generar patrones de desplazamiento, la construcción de la trazabilidad de los usuarios de telefonía, de acuerdo con Auld & Mohammadian (2014, 53-78), e incluso, como lo señalan Kohla et al. (2014, 134), predecir ocho modos de transporte a partir de dos modelos de regresión logística multinodal basados en nueve características de GPS y datos de aceleración.

El documento se encuentra dividido de la siguiente forma: inicialmente presenta la descripción de la terminología utilizada en los estudios revisados: CDR, teléfonos inteligentes, acelerómetro, GPS. Luego, los resultados de las investigaciones, los indicadores, metodologías, las limitaciones y los beneficios de los estudios en el reconocimiento de variables de movilidad a partir de datos recolectados de teléfonos inteligentes, CDR y GPS. Finaliza con una comparación de metodologías

5 «Al término del primer trimestre de 2016, el número de abonados en servicio de telefonía móvil en Colombia alcanzó un total de 57.292.621, y un índice de penetración del 117,5%, presentando un aumento de 1 punto porcentual con relación al índice de penetración del mismo trimestre del año anterior, el cual se ubicó en el 116,5%» (MinTIC, 2016, 31).

de base tecnológica con el método tradicional de la encuesta origen destino, cuyo propósito es describir los indicadores de movilidad que son cubiertos por los estudios que hacen uso de tecnologías, con el fin de ofrecer a investigadores del área de transporte, una panorámica de las alternativas existentes que pueden ser utilizadas como complemento a la encuesta tradicional origen destino.

1. Encuesta domiciliaria

Se convierte en un método convencional ampliamente utilizado, de acuerdo con el Ministerio de Transporte (s.f., 7), para la obtención detallada de información acerca de los viajes realizados en una zona urbana. Inicialmente se le llamó encuesta de origen y destino (O-D), pues, para fines de planeación, los datos obtenidos se utilizan directamente para estimar los flujos de viajes entre las zonas de una ciudad.

La incorporación de técnicas estadísticas en el desarrollo de encuestas origen y destino ha permitido contar con todo el rigor de muestreo, tamaño, grupos de interés, entre otros aspectos. Para Richardson, Ampt & Meyburg (1995, 29), el proceso de recolección de datos para obtener una muestra representativa, demanda grandes recursos económicos para cubrir salarios, equipos, impresión, transporte y personal experto en el análisis de información, así como también varios meses en el desarrollo de las actividades, que incluyen diseñar la encuesta, aplicar pruebas pilotos, contactar citas previas con cada familia para aplicar, procesar y analizar la encuesta, factores dificultan la toma de datos.

Los datos recolectados por medio de la encuesta domiciliaria deben contar con características específicas, como lo contemplan Ortúzar & Willumsen (2008, 129):

- Considerar las diferentes etapas del viaje, para relacionar modos específicos a diferentes localizaciones, horarios y longitudes.
- Incluir todos los modos de viaje, entre ellos los no motorizados.
- Desagregar los propósitos o motivos de los viajes.
- Cubrir completamente el período temporal de referencia.
- Garantizar su elevada calidad y robustez para ser utilizables a nivel disgregado.
- Utilizar sistemas de recolección integrales que comprendan encuestas en hogares como datos referentes y también provenientes de otras fuentes (encuestas en cordón, por ejemplo).

El nivel de detalle buscado en las encuestas, no es tarea simple y a menudo es obstaculizado por la dificultad de convencer en las entrevistas a un conjunto suficientemente amplio de individuos, a que participen en este esfuerzo. En ocasiones cuando se requieren atributos detallados del comportamiento de viaje, de acuerdo con Asakura, Hato & Maruyama (2015, 18), el encuestado puede no responder a todas las preguntas debido a su memoria, trayendo frecuentes errores, por lo que las encuestas de comportamiento basados en cuestionarios no siempre son adecuadas para recolectar datos sobre viajes microscópicos. *«Por tanto, en función de los objetivos de la modelización (es decir, análisis estratégico versus estudios detallados de planificación táctica), el analista puede decidir simplificar la carga sobre los entrevistados esperando adquirir información menos detallada»* (Ortúzar & Willumsen, 2008, 129).

2. Tecnologías CDR y teléfonos inteligentes

2.1 Registro detallado de llamadas

Los registros detallados de llamadas CDR (*Call Detail Record*), son metadatos que se almacenan en las operadoras del servicio de comunicación cuando inicia una llamada o se envía un mensaje de texto. Por cada línea telefónica las operadoras tienen el número de llamadas realizadas y la duración, así como el número de mensajes de textos enviados, un ejemplo de los datos almacenados se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Datos registrados en un CDR (Dubow, 2014, 8)

Variable	Dato
Caller ID	X76VG588RLPQ
Caller ID tower location	2°24' 22.14", 35°49' 56.54
Recipient phone number	A81UTC93KK52A81UTC93KK52
Recipient cell tower location	3°26' 30.47", 31°12' 18.01"
Call time	3013-11-07T15:15:00
Call duration	01:12:02

Los CDR generados siempre han sido de gran interés para los servicios de seguridad de cada país. Al analizar los CDR de una línea telefónica se obtiene información sobre los contactos más frecuentes, así como la trazabilidad de las zonas donde se realizó la comunicación. Solo ha sido hasta los últimos años, que ha cambiado

la perspectiva de uso de esta fuente de datos y se ha generado un incremento en las investigaciones científicas. Apoyado de igual forma del acelerado aumento de las capacidades de procesamiento de las computadoras así como el uso de tecnologías usadas en Big data, que brindan un conjunto de herramientas para identificar tendencias, y patrones con el manejo de volúmenes extremadamente grandes de datos, que incluso en los estudios con datos CDR se trabajan con miles de millones.

El teléfono inteligente, según Himmelsbach (2013, 1), hace referencia a un dispositivo electrónico de mano que tiene grandes capacidades de procesamiento y de almacenamiento, en tanto Gartner (2016) lo define como un dispositivo de comunicación móvil que está optimizado en sus especificaciones y características para soportar una o más funciones principales como música, video, juegos, imágenes, navegación, televisión móvil, navegación y mensajería.

El teléfono inteligente interactúa con el entorno a través los sensores, los cuales, según Daponte et al. (2013, 3291-3307), miden magnitudes físicas y las transmiten al procesador de aplicaciones a través de una interfaz digital. Los sensores utilizados para la identificación de movimientos son:

- Acelerómetro. Es un instrumento que mide las fuerzas de aceleración del dispositivo en relación con la caída libre. Los teléfonos inteligentes cuentan con uno para capturar los cambios de movimiento en 2 o 3 dimensiones (por ejemplo, cuando al cambiar la posición de vertical a horizontal del dispositivo, el contenido de la pantalla se ajusta automáticamente). Ha sido ampliamente estudiado durante los últimos 20 años y aplicado en sacos de aire en los automóviles, en algunas computadoras para proteger el disco duro y en cámaras digitales para estabilizar la imagen.
- Giroscopo. Según Albaladejo (2008, 30) este sensor se encarga de medir el giro de un dispositivo en dirección diagonal gracias a la aceleración angular, algo de lo que no es capaz por sí solo el acelerómetro. Juntos, el acelerómetro y el giroscopio pueden detectar los cambios en la posición del dispositivo en seis ejes.
- Barómetro. Mide la presión atmosférica, y puede determinar la altitud con respecto al nivel del mar, lo cual mejora la precisión del GPS.
- GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Calcula la posición a partir de la señal de por lo menos cuatro de los 24 satélites que cubren la tierra.

Para Asakura, Hato & Maruyama (2015, 17), los métodos convencionales de planificación de transporte fueron diseñados para adaptarse a gran escala, a largo plazo, y teniendo en cuenta desarrollos integrales de la infraestructura de transporte. Sin embargo en los últimos años este enfoque ha cambiado para trabajar a menor escala, a corto plazo y planificando el sistema de transporte con objetivos específicos. Este nuevo enfoque requiere la recolección de datos de viaje de forma constante con el fin que puedan ser utilizados en estudios longitudinales y que puedan validar los efectos de los programas de gestión de transporte. Es así como a continuación se describen las tecnologías existentes para la recolección de datos de movilidad, así como la metodología utilizada y los participantes en los estudios.

2.2 CDR como fuente para reconocer variables de movilidad

Naboulsi, Fiore & Stanica (2014) utilizan cinco millones de registros CDR de la operadora de telecomunicaciones Orange en la capital económica de Abidja, Costa de Marfil, con el propósito de la investigación de detectar eventos que se generan en la ciudad, como año nuevo y partidos de fútbol jugados durante la Copa Africana de Naciones, así mismo analizar cómo se moviliza la población de Abidjan durante el transcurso de esos días. En el estudio se enfocan en dos orígenes de los datos: D1 tráfico de antena a antena y D2 trayectoria individual de 50.000 personas seleccionados aleatoriamente. Los datos se tomaron de varios días, para hacer seguimiento a los desplazamientos de la población. A partir de los datos se construyó la matriz origen destino, esencial en el análisis para identificar los momentos en los que la población está distribuida en ciertas área. Esta técnica permitió identificar cinco de los seis partidos de fútbol y eventos del nuevo año así como diferenciar días normales de los días especiales.

Así mismo, Ponieman, Salles & Sarraute (2013, 1331-1336) coinciden con los resultados anteriores al afirmar que los datos masivos de geolocalización recolectados de CDR, permiten entender y predecir patrones de movilidad humana. Ellos estudian cómo los fenómenos sociales son reflejados en los datos de telefonía móvil y se centran en eventos de tipo deportivo, en la ciudad de Buenos Aires Argentina con cerca de 50 millones de registros anónimos proporcionados por el operador de telefonía. A partir de estos datos y con la información recolectada previamente sobre los lugares con más frecuencias en el número visitas se construye un modelo con el uso de algoritmos para predecir los patrones de movilidad.

Alexander et al. (2015, 240-250), amplían la metodología utilizada, detallando los pasos necesarios para extraer el promedio diario de viajes origen y destino por propósito hogar o trabajo y hora del día a partir de registros CDR. En un primer paso se realiza la recolección de datos de 8 mil millones de registros de llamadas de telefonía móvil, de dos millones de usuarios anónimos de telefonía del área metropolitana de Boston y se disminuye el ruido generado por balanceos de carga de las operadoras, en el que se transfieren llamadas entre las torres con mayor carga a aquellas con menor carga, esto crea aparentes desplazamientos, y se mejora precisión en la triangulación de la posición. Como segundo paso se realiza la identificación de actividades y la estimación de los viajes. Por cada usuario se identificaron los lugares de visita y la duración que permanece en cada sitio⁶, además se tiene como supuesto que una persona inicia y termina cada periodo en el hogar. El paso final consiste en validar la información obtenida a partir de encuestas de planificación y transporte, evidenciando alta correlación en los resultados.

Por su parte, Steenbruggen, Tranos & Nijkamp (2015, 337), explican que los datos CDR, en conjunto con datos de GPS y WiFi, pueden ser usados efectivamente para representar patrones de movilidad y complementan los datos de la encuesta tradicional. El uso de registros CDR presenta limitaciones que deben considerarse a la hora de realizar estudios, como describen Iqbal et al. (2014, 67), con los registros CDR se puede observar como un usuario se desplaza de una zona a otra; se puede identificar con seguridad el origen del viaje, sin embargo el destino de los usuarios se pierde cuando no se realiza algún tipo de comunicación por llamada o envío de mensaje.

Para mejorar la precisión en la identificación de la movilidad origen y destino de las personas, Calabrese et al. (2013, 303-307), aumentaron el número días de la recolección de los datos, por ejemplo, para identificar un día típico de la semana, se registraron datos de varios días jueves, encontrando patrones en los comportamientos de la información, para distinguir los datos útiles en la construcción de la matriz origen y destino. Por otra parte, Ponienman, Salles & Sarraute (2013, 1333), plantean los problemas para precisar la zona donde se realiza una llamada. Un usuario puede estar en su casa haciendo una llamada pero en la comunicación se usa más de una antena, lo cual haría pensar que se

6 Cada usuario que se encuentra en la casa es identificado por el lugar donde permanece por más tiempo los fines de semana y durante la semana por la estadía durante las horas de 7:00 p.m. a 8:00 a.m. El lugar de trabajo es identificado por el lugar de más frecuencia en la semana, la localización de 8:00 a.m. a 7:00 p.m. y la distancia desde la casa. De acuerdo con la duración en cada lugar y la distancia entre el hogar y el trabajo se identifica la hora de salida del viaje utilizando funciones de probabilidad.

encuentra en dos lugares diferentes. Así mismo ellos indican que puede resolverse este problema agrupando la información de las antenas y contrastando la información de los CDR con información adicional obtenida de GPS. La figura 1 muestra en forma resumida los autores, metodología y resultados obtenidos a partir del uso de datos CDR y WiFi.

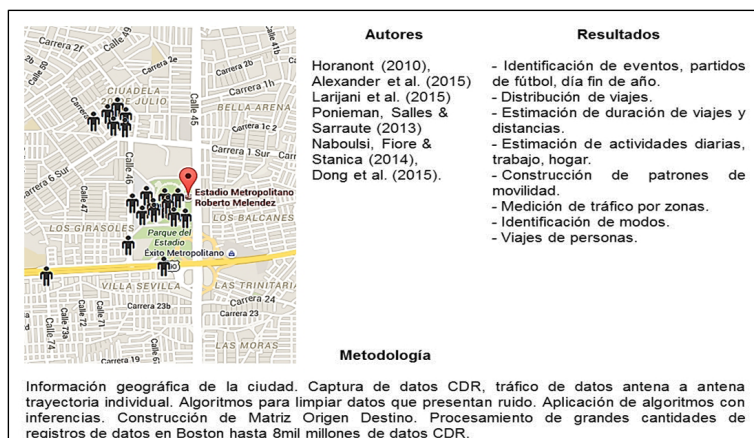


Figura 1. Estudios para la identificación de variables de movilidad con el uso de CDR y WiFi (construida a partir de varias fuentes)

2.3 Teléfonos inteligentes como fuente de datos para reconocer variables de movilidad

Los teléfonos inteligentes están equipados con sensores capaces de capturar datos de localización con el sensor GPS y cambios en los movimientos del dispositivo con el sensor acelerómetro. Los datos registrados de estos sensores son la fuente principal para el desarrollo de estudios para la identificación de variables de movilidad.

Bayat, Pomplun & Tran (2014), Ma, Cheng & Wang (2010) y Reyes (2015), plantean cómo el uso de datos de GPS tomados por teléfonos inteligentes, puede utilizarse para predecir patrones de movilidad, mientras que la recolección de datos del acelerómetro en sus dimensiones x,y,z conforman el insumo base para construir las características, en el reconocimiento del modo de viaje de las personas como caminar, viajar en bicicleta, en vehículo, o en bus utilizando algoritmos de aprendizaje supervisado como redes bayesianas, perceptron multicapa, redes neuronales, máquinas de soporte vectorial.

El uso de aplicaciones basadas en GPS para automatizar la captura de datos de origen-destino puede inicialmente ser más costoso que

metodologías tradicionales como la encuesta domiciliaria o el diario de viajes, sin embargo el registro de datos origen destino en tiempo real y con la calidad exigida merecen los costos adicionales de despliegue como lo señalan Bricka et al. (2014, 1). Maruyama et al. (2015, 280), respaldan la afirmación anterior, al indagar sobre la diferencia entre los efectos de la recompensa y los métodos efectivos de reclutamiento entre los diferentes participantes en la aplicación de dos encuestas de viajes basadas en teléfonos inteligentes en Kumamoto (Japón), obteniendo que los jóvenes prefieren recompensas, mientras que a algunas personas mayores no les importan.

En Figura 2 se resumen los autores, metodología y resultados obtenidos con el uso de datos del acelerómetro y datos GPS. Dentro de las limitaciones encontradas en la captura de datos con el uso de teléfonos móviles está el número de reducido de participantes (6 a 10), así como las marcas y distribuciones de los sistemas operativos que limitan la ampliación del estudio.

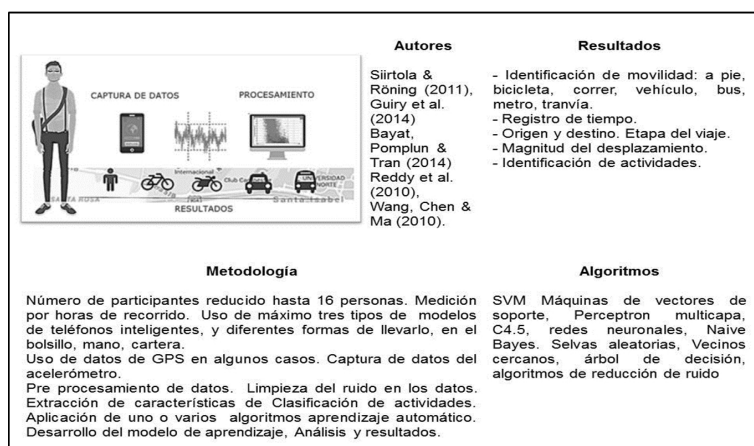


Figura 2. Estudios para la identificación de variables de movilidad con el uso de datos acelerómetro y GPS (construida a partir de varias fuentes)

2.4 Comparación de tecnologías para la recolección de datos de movilidad

Para la revisión y comparación de alternativas, expertos en movilidad y transporte del Grupo GIDPOT, seleccionaron y analizaron algunas de las características necesarias para el desarrollo de la encuesta origen y destino respecto a la utilización de las tecnologías CDR y teléfonos inteligentes, obteniendo la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación de tecnologías respecto a características de la encuesta origen destino

Aspecto	CDR, WiFi	Tecnología móvil, GPS, Acelerómetro
Costo	No se tiene información.	A nivel técnico los costos para el desarrollo de aplicaciones móviles en la recolección de información han disminuido, sin embargo masificar el uso de esta tecnología para una muestra, implica aumentos costos para la promoción y difusión de uso.
Muestreo de datos	Gran cantidad de datos de hasta miles de millones de datos.	Recolección de datos por número reducido de personas de hasta 20. En el estudio de Maruyama et al. (2015,280-288), se realizan varias actividades para aumentar el número de participantes.
Limitaciones	Validación de la zona de llamada. Eliminación de ruido en los datos. Acceso a datos, por parte de las operadoras. Seguimiento constante a los identificadores de la llamada para generar patrones de movilidad.	Eliminación de ruido en los datos. Identificación del lugar donde se encuentra el dispositivo, bolsillo, en la mano, en bolso. Masificación uso de la aplicación.
Complejidad de algoritmos	Inferencias lógicas. De acuerdo a la hora donde se realice la llamada se puede establecer hogar o trabajo.	Aprendizaje automático para reconocer el modo como se moviliza una persona, a pie, bicicleta, carro.
Indicadores de movilidad	Hora y minuto del viaje. Origen del viaje. Destino del viaje. Etapas. Baja precisión. Modos. No se realiza la identificación. Kilómetros del viaje. Motivo del viaje. Hogar, trabajo. Matriz origen destino Identificación de eventos partidos de fútbol, culturales, fin de año. Patrones de movilidad de la población.	Hora y minuto del viaje. Origen del viaje. Destino del viaje. Etapas del viaje Modos. A pie, bicicleta, moto, bus, automóvil, metro, tranvía, sin movilidad. Kilómetros del viaje. Motivo del viaje. Hogar, trabajo, compras. Matriz origen y destino. Trazabilidad completa. Patrones de movilidad persona.
Indicadores socio económicos	En los estudios no se encuentra información al respecto.	Desarrollo de aplicaciones para recolectar datos socioeconómicos.
Información requerida de otras fuentes	Información geográfica del sitio de estudio. Información sobre el transporte público.	Información geográfica del sitio de estudio. Información sobre el transporte público.
Periodos de observación	Recolección de datos constante	Recolección de datos constante

Debido a los altos costos económicos y humanos que involucra la realización de planes de movilidad unido a los periodos generalmente cortos para capturar datos a partir de la encuesta domiciliaria, Asakura, Hato & Maruyama (2014, 17-35) consideran herramientas de comunicación móviles y sistemas para mejorar la calidad de los datos de viaje en términos de largo plazo, así como el proceso de recolección de datos puede llevarse a cabo sin necesidad de la intervención de los participantes para registrar datos, disminuyendo errores en las respuestas.

En los estudios que abarcan teléfonos inteligentes, el número de marcas y sistemas operativos fue reducido, y de igual forma lo fue el número de los participantes, este vacío en las investigaciones se presenta como una oportunidad para los investigadores para el desarrollo de aplicaciones móviles que funcionen en diversos dispositivos y para la generación de estrategias para cubrir esa misma cantidad de encuestas con métodos tradicionales.

Con el uso de tecnologías móviles, se destaca la captura de datos con alta precisión y calidad y que en ocasiones puede registrarse en tiempo real. Usando estas tecnologías posibilita aplicar encuestas en forma indefinida, manteniendo grandes volúmenes de datos o *Big Data* para analizar la información de movilidad constantemente, facilitando la toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo en las ciudades.

3. Conclusiones

Si bien, la tecnología no puede considerarse como una solución mágica a los problemas económicos, sociales y de movilidad urbana existentes, como señalan Ortúzar & Willumsen (2008, 30), los resultados obtenidos de la comunidad científica con el uso de datos recolectados de CDR y teléfonos inteligentes (el desarrollo de patrones de movilidad, la identificación de los modos de movilidad con el uso del acelerómetro, la construcción de la matriz origen destino a partir de datos CDR, el reconocimiento de eventos en las ciudades y los desplazamientos de la población realizados, entre otros), representan una gran fuente de información que complementa varios aspectos importantes de movilidad de la encuesta domiciliaria.

La búsqueda de conocimiento, para comprender el desplazamiento de las personas en ciudades medianas (mayores a 400 mil habitantes) y grandes (mayores a cuatro millones), permitirá en un futuro cercano

el desarrollo de infraestructura urbana y el desarrollo de planes de transporte acordes a las necesidades de movilidad generadas en tiempo real, según Ponienman, Salles & Sarraute (2013, 1331-1336) y Dong et al. (2015, 278–291). Ello favorecido por el relativo bajo costo para los operadores de telefonía móvil para recolectar miles de millones de registros de llamadas, en conjunto con el crecimiento en el uso de teléfonos inteligentes, de acuerdo con Calabrese et al. (2013, 311).

En los estudios revisados en libros, en las bases de datos *ScienceDirect*, *Scopus*, IEEE entre otras, así como de la información obtenida de expertos respecto al uso de tecnologías móviles para la recolección de datos de movilidad, se encontraron vacíos, que pueden transformarse en una gran oportunidad para avanzar en la línea de investigación de sistemas inteligentes o nuevas tecnologías de transporte para la construcción de planes de movilidad, dentro de las cuales se encuentra: la necesidad de generar metodologías y estrategias para obtener muestras representativas de la población con el uso de teléfonos inteligentes, así como la construcción de aplicaciones móviles como instrumento, que permita recolectar, además de la trazabilidad del viaje, variables socioeconómicas y datos básicos de los participantes en los proyectos.

Referencias bibliográficas

- ALBALADEJO DA SILVA, J.M. (2008). Adaptación de un smart-phone para la toma de datos en la experiencia de estabilidad de un buque [en línea]. Proyecto fin de carrera (Ingeniero Técnico Naval, especialidad Estructuras marinas). Cartagena (Murcia, España): Universidad Politécnica de Cartagena, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica. 30 p. <<http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3619/pfc5451.pdf;jsessionid=D567070C4B40B7B34DACD F4D9E306191?sequence=1>> [consulta: 10/09/2016]
- ALEXANDER, L.; JIANG, S.; MURGA, M. & GONZÁLEZ, M.C. (2015). Origin–destination trips by purpose and time of day inferred from mobile phone data [online]. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 58, Part B (sep). Amsterdam (The Netherlands): Elsevier B.V. p. 240–250. ISSN: 0968-090X <<http://doi.org/10.1016/j.trc.2015.02.018>>, <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X1500073X>> [consult: 10/09/2016]
- ASAKURA, Y.; HATO, E. & MARUYAMA, T. (2014). Chapter 2. Behavioural data collection using mobile phones [online]. In: RASOULI, S. & TIMMERMAN, H. (ed.). Mobile Technologies for Activity-Travel Data Collection and Analysis. Hershey (PA, USA): IGI Global. p. 17-35. e-ISBN: 9781466661714. <DOI:10.4018/978-1-4666-6170-7.ch002>, <<http://www.igi-global.com/chapter/behavioural-data-collection-using-mobile-phones/113201>> [consult: 15/05/2016]
- AULD, J. & MOHAMMADIAN, A. (2014). Chapter 4. Collecting activity-travel and planning process data using gps-based prompted recall surveys: Recent experience and future directions [online]. In: RASOULI, S. & TIMMERMAN, H. (ed.). Mobile Technologies for Activity-Travel Data Collection and Analysis. Hershey (PA, USA): IGI Global. p. 53-78. e-ISBN: 9781466661714. <DOI:10.4018/978-1-4666-6170-7.ch004>, <<http://www.igi-global.com/chapter/collecting-activity-travel-and-planning-process-data-using-gps-based-prompted-recall-surveys/113203>> [consult: 15/05/2016]
- BAYAT, A.; POMPLUN, M. & TRAN, D.A. (2014). A study on human activity recognition using accelerometer data from smartphones [online]. In: Procedia Computer Science, Vol. 34. Amsterdam (The Netherlands): Elsevier B.V. p. 450-457. ISSN: 1877-0509. <doi:10.1016/j.procs.2014.07.009>, <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050914008643>> [consult: 05/15/2016]

- BRICKA, S.G.; BAKER, R.; SIMEK, C.L. & WOOD, N. (2014). Chapter 1: Origin-Destination Data Collection Technology [online]. In: RASOULI, S. & TIMMERMANS, H. (ed.). Mobile Technologies for Activity-Travel Data Collection and Analysis. Hershey (PA, USA): IGI Global. p. 1-16. e-ISBN: 9781466661714. <DOI:10.4018/978-1-4666-6170-7.ch001>, <http://www.igi-global.com/viewtitlesample.aspx?id=113200&ptid=102197&t=Origin-Destination%20Data%20Collection%20Technology> [consult: 15/05/2016]
- CALABRESE, F.; DIAO, M.; DI LORENZO, G.; FERREIRA, J. & RATTI, C. (2013). Understanding individual mobility patterns from urban sensing data [online]. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 26 (jan). Amsterdam (The Netherlands): Elsevier B.V. p. 301-313. ISSN: 0968-090X. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2012.09.009>, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X12001192> [consult: 17/07/2016]
- DAPONTE, P.; DE VITO, L.; PICARIELLO, F. & RICCIO, M. (2013). State of the art and future developments of measurement applications on smartphones [online]. In: Measurement, Vol. 46, No. 9 (nov). Amsterdam (The Netherlands): Elsevier B.V. p. 3291-3307. ISSN: 0263-2241. <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2013.05.006>, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026322411300198X> [consult: 05/05/2016]
- DONG, H.; WU, M.; DING, X.; CHU, L.; JIA, L.; QIN, Y. & ZHOU, X. (2015). Traffic zone division based on big data from mobile phone base stations [online]. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 58 Part B (sep). Amsterdam (The Netherlands): Elsevier B.V. p. 278-291. ISSN: 0968-090X. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2015.06.007>, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X15002223> [consult: 08/06/2016]
- DUBOW, J. (2014). Big Data and Urban Mobility [online]. Cairo (Egypt): The World Bank Group (02/06/2014). 21 p. <http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/Feature%20Story/mena/Egypt/Egypt-Doc/Big-Data-and-Urban-Mobility-v2.pdf> [consult: 15/11/2016]
- GARTNER (2016). IT Glossary: Smartphone [online]. Stamford (CT, USA): Gartner, Inc. <http://www.gartner.com/it-glossary/smartphone/> [consult: 08/10/2016]
- HIMMELSBACH, T. (2013). A survey on today's smartphone usage. Diploma Thesis. Berlin (Germany): Technische Universität Berlin - GRIN Verlag. 133 p. ISBN: 978-3-656-17508-7
- IQBAL, S.; CHOUDHURY, C.F., Wang, P., & González, M. C. (2014). Development of origin-destination matrices using mobile phone call data [online]. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 40 (mar). Amsterdam (The Netherlands): Elsevier B.V. p 63-74. ISSN: 0968-090X <http://doi.org/10.1016/j.trc.2014.01.002>, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X14000059> [consult: 04/04/2016]
- KOHLA, B.; GERIKE, R.; HÖSSINGER, R.; MESCHIK, M.; SAMMER, G. & UNBEHAUM, W. (2014). Chapter 9. A New Algorithm for Mode Detection in Travel Surveys: Mobile Technologies for Activity-Travel Data Collection and Analysis [online]. In: RASOULI, S. & TIMMERMANS, H. (ed.). Mobile Technologies for Activity-Travel Data Collection and Analysis. Hershey (PA, USA): IGI Global. p. 134-151. e-ISBN: 9781466661714. <DOI: 10.4018/978-1-4666-6170-7.ch009>, <http://www.igi-global.com/chapter/a-new-algorithm-for-mode-detection-in-travel-surveys/113208> [consult: 15/05/2016]
- MA, J.; CHENG, C. & WANG, S. (2010). Accelerometer Based Transportation Mode Recognition on Mobile Phones [online]. In: Asia-Pacific Conference on Wearable Computing Systems, APWCS 2010 (17-18/04/2010). Shenzhen (China): IEEE. LUO, Q. (ed.). Proceedings of the APWCS 2010, Los Alamitos (CA, USA): IEEE Computer Society. p 44-46. e-ISBN: 978-1-4244-6468-5. <http://doi.org/10.1109/APWCS.2010.18>, <http://ieeexplore.ieee.org/document/5481107/> [consult: 12/05/2016]
- MARUYAMA, T.; SATO, Y.; NOHARA, K. & IMURA, S. (2015). Increasing smartphone-based travel survey participants. Transportation Research Procedia [online]. In: Transportation Research Procedia. Vol 11. Amsterdam (The Netherlands): Elsevier B.V. p. 280-288. ISSN: 2352-1465 <http://doi:10.1016/j.trpro.2015.12.024>, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146515003154> [consult: 05/09/2016]
- MEDNIS, A.; STRAZDINS, G.; ZVIEDRIS, R.; KANONIRS, G. & SELAVO, L. (2011). Real time pothole detection using Android smartphones with accelerometers [online]. In: 7th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops, IEEE DCOSS'11 (27-29/06/2011). Barcelona (Spain): IEEE. STOJMENOVIC, I.; DOHLER, M. & DUNKELS, A. (ed.). Proceedings of the DCOSS'11. p. 1-6. e-ISBN: 978-1-4577-0511-3. <http://doi.org/10.1109/DCOSS.2011.5982206>, <http://ieeexplore.ieee.org/document/5982206/?arnumber=5982206>. [consult: 07/07/2015]
- MINISTERIO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES, MINTIC (2016). Boletín trimestral de las TIC: Cifras primer semestre de 2016 [en línea]. Bogotá (Colombia): Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. 44 p. <http://colombiatic.mintic.gov.co/602/articles-15639_archivo_pdf.pdf> [consulta: 20/11/2016]
- MINISTERIO DE TRANSPORTE (s.f.). Manual para estudios de origen y destino de transporte de pasajeros y mixto en áreas municipales, distritales y metropolitanas [en línea]. Bogotá (Colombia): Minsiterio de Transporte. 49 p. <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=4299> [consulta: 07/10/2016]
- NABOULSI, D.; FIORE, M. & STANICA, R. (2014). Urban Mobility Flows from Mobile Phone Data [online]. In: Symposium "Towards integrated modelling of urban systems" (15-17/10/2014). Lyon (France): Transport Economics Laboratory, LET. Lyon Symposium 2014 / Mobility, traffic, parking / 39461. <https://hal.inria.fr/hal-01095558> [consult: 15/05/2016]

- ORTÚZAR, J.D. & WILLUMSEN, L.G. (2008). Modelos de transporte. Santander (Cantabria, España): Universidad de Cantabria. Colección: Traducciones, Vol. 1. 711 p. ISBN: 978-84-8102-512-5
- PONIEMAN, N.B.; SALLES, A. & SARRAUTE, C. (2013). Human Mobility and Predictability enriched by Social Phenomena Information [online]. In: International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining, ASONAM'13 (25-29/08/2013). Niagara (ON, Canada): IEEE/ACM. Conference ASONAM'13. New York (NY, USA): ACM. p 1331-1336. ISBN: 978-1-4503-2240-9 <<http://doi.org/10.1145/2492517.2500236>>, <<http://dblp.uni-trier.de/db/conf/asunam/asonam2013.html>> [consult: 04/05/2016]
- REYES ORTIZ, J.L. (2015). Smartphone-Based Human Activity Recognition [online]. Series: Springer Theses - Recognizing Outstanding Ph.D. Research. Cham (ZG): Springer International Publishing Switzerland. 133 p. e-ISBN: 978-3-319-14274-6 <DOI: 10.1007/978-3-319-14274-6>, <<http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-14274-6>> [consulta 12/05/2016]
- RICHARDSON, A.J., AMPT, E.S. & MEYBURG, A.H. (1995). Survey Methods for Transport Planning [online]. Oakland (CA, USA): Eucalyptus. 459 p. 978-0646214399 <http://www.no2hcf.co.uk/docs/Traffic_survey_form.pdf> [consult: 02/02/2016]
- STEENBRUGGEN, J.; TRANOS, E. & NIJKAMP, P. (2015). Data from mobile phone operators: A tool for smarter cities? [online]. In: Telecommunications Policy, Vol. 39, No. 3-4, (may). Amsterdam (The Netherlands): Elsevier B.V. p 335-346. ISSN: 0308-5961 <<http://doi.org/10.1016/j.telpol.2014.04.001>>, <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308596114000603>> [consult: 17/05/2016]