

Generación de un modelo para el análisis de la demanda de servicio en un sistema de transporte público

Edmundo Núñez¹ y Freiser Jiménez²

CI-1441 Paradigmas computacionales

Escuela de Ciencias de la Computación e Informática

Facultad de Ingeniería

Universidad de Costa Rica

¹ ednincer@gmail.com, ² freiserjimenez@gmail.com

Julio de 2015

Resumen

En este informe se describe el desarrollo de un sistema multi-agente para modelar un servicio de transporte público. El modelo fue desarrollado con la herramienta NetLogo y en particular realiza la simulación de duraciones de recorrido y demanda de pasajeros en la línea L1 de la ruta Periférica de San José, Costa Rica. Con dicho modelo se pretende poder realizar simulaciones que brinden datos de interés para la toma de decisiones en relación con el servicio, tales como cantidad de pasajeros servidos y tiempos de espera promedio de los usuarios en las paradas.

Palabras clave: modelo, simulación, demanda, transporte, netlogo.

1. Introducción

El objetivo de este proyecto es modelar un sistema de transporte público, empleando el paradigma de sistemas multi-agentes. Para ello se utilizó la herramienta NetLogo, que permite realizar simulaciones a partir de la creación de agentes que representan los elementos involucrados en el sistema, al establecer su comportamiento e interacciones.

En particular, se desarrolló un modelo para la línea L1 de la ruta Periférica, para lo cual se contó con información cruda de posicionamiento geográfico y tiempos de recorridos de sus buses para 3 semanas del año 2014. Además se contó con la información de barras de acceso en los buses (subidas y bajadas) para las mismas fechas.

El modelo desarrollado permitió la ejecución de múltiples simulaciones del sistema. Aunque la validez de los resultados de las simulaciones está limitada por algunos problemas con la obtención de los parámetros de entrada del modelo, el modelo ha sido completado y permitiría la obtención de información de interés a partir de la refinación de dichos parámetros.

Se pretende que una vez refinados los parámetros, el modelo resultante permita, mediante la ejecución de simulaciones, realizar diferentes tipos de análisis, que apoyen la toma de decisiones estratégicas para mejorar el servicio.

2. Marco teórico

En el proceso de revisión bibliográfica para el proyecto no se encontró información de modelos desarrollados para casos similares. Sin embargo si se localizaron artículos relacionados con el análisis de los datos que se debió realizar en este proyecto y estudios que comparten los objetivos del mismo.

2.1 Análisis espacio-temporal de datos de transporte

En cuanto a la etapa de análisis de datos, requerida para la generación del modelo, un artículo que sirvió de guía dada su similitud con el presente proyecto fue *Spatio-Temporal Trajectory Analysis of Mobile Objects following the same itinerary* (Etienne et al, 2010), en el cual se describe el análisis geoespacial aplicado al transporte marítimo. En este caso se

analizan recorridos de rutas de barcos en una zona en particular y se realiza un análisis estadístico de datos espacio-temporales para definir patrones.

Su principal importancia con respecto a otros estudios es que toma en cuenta tanto el aspecto espacial como el temporal. En este aspecto, es precisamente el mismo tipo de estudio que estamos realizando; sin embargo, difiere en que los barcos no siguen una ruta específica como un bus en una carretera, lo cual cambia en cuanto a la metodología que debemos desarrollar.

2.2 Aplicación de datos de GPS en sistemas de información geográfico

El artículo *Application of GPS Data in Geographic Information Systems* (Nijhuis, 2008), se refiere a la aplicación del análisis de datos de GPS en sistemas de información geográfico. Si bien el tipo de datos y análisis no tienen relación con este estudio, se tienen objetivos similares: el apoyar la planificación y toma de decisiones para mejorar la eficiencia en los sistemas estudiados.

3. Objetivos y cronograma

3.1 Objetivo general

Generar un modelo para el análisis de la demanda de servicio en un sistema de transporte público.

3.2 Objetivos específicos

- Crear una base de datos a partir de los datos espacio-temporales de recorridos y marcas de subidas y bajadas de pasajeros de un grupo de buses.
- Extraer información de rutas de forma automatizada a partir de datos espacio-temporales de recorridos de buses y marcas de subidas y bajadas de pasajeros.
- Realizar agrupamiento de rutas para los datos de recorridos de buses en la base de datos.
- Obtener patrones de comportamiento espacio-temporales para las rutas establecidas.

- Obtener información estadística sobre el comportamiento de la demanda en un caso particular de ruta de bus para la parametrización del modelo a generar.
- Generar un modelo en NetLogo para un caso particular de ruta de bus, que permita realizar un análisis del comportamiento del sistema a partir de parámetros tales como la frecuencia de salidas de buses y la demanda de usuarios en los diferentes puntos de la ruta. El modelo tendrá como posibles datos de salida los tiempos de espera promedio de los usuarios, tiempos promedios de recorrido y cantidad de pasajeros movilizados.

3.3 Cronograma

Se planteó el siguiente cronograma general para el desarrollo del proyecto:

Tabla 1. Cronograma de desarrollo

Semana	Eventos
Semana 8	Revisión Bibliográfica
	Presentación de Propuesta del Proyecto
Semana 9	Traslado de los insumos (información espacio-temporal y de marcas de los buses) de archivos de hoja electrónica a una base de datos.
Semana 10	Obtención automatizada de las rutas recorridas por los buses.
Semana 11	Agrupamiento en rutas encontradas para los recorridos de los buses.
Semana 12	Obtención de patrones de espacio y tiempo para los grupos de recorridos de una misma ruta
Semana 13	Informe de Avance del Proyecto
Semana 14	Obtención de información del comportamiento de la demanda en una ruta seleccionada para parametrización del modelo.
Semana 15	Creación de Modelo en Netlogo
Semana 16	Creación de Modelo en Netlogo
Semana 17	Informe Final

4. El problema

El análisis de un sistema de transporte público, tal como una ruta de bus en una ciudad, es complejo por la gran cantidad de variables que intervienen, tales como la cantidad de paradas, las tasas de arribos de usuarios

a las diferentes paradas, las tasas de salidas de los buses y el tráfico, que afecta las duraciones de los recorridos, entre otras. También debe considerarse la variación de cada uno de estos parámetros en las diferentes horas del día.

Para la generación del modelo fue necesario en primer lugar extraer dichos parámetros a partir de los datos crudos disponibles de posicionamiento geoespacial de los recorridos de buses y datos de barras en la entrada y salida del bus.

En este punto es importante indicar varios problemas que se tuvieron con los datos de insumo con los que se contó:

- La información de posicionamiento geoespacial (GPS) de los recorridos de buses está mezclada para los 4 tipos de ruta de la Periférica. Se debió proceder a la separación de esta información para contar con los datos de la línea a modelar (L1) por separado y descartar el resto de los datos. Esto corresponde en sí a un problema de clasificación a resolver.
- Los datos de GPS y de barras son de fuentes independientes y por tanto la forma de “sincronizar” esta información fue a través de las estampillas de tiempos de ambos datos. Se nos indicó que los datos de GPS cuentan con datos en una zona horaria diferente (con una hora de diferencia) y además una diferencia de 37 segundos entre ambos, que hubo que ajustar en los datos crudos.
- Existen faltantes de datos tanto en los archivos de GPS como en los de barras para algunos buses/horarios/fechas. Como en el análisis se combinaron ambos datos de entrada, el faltante de cualquiera de los dos tipos de datos implicaba la eliminación también del dato complementario para dichos faltantes.
- Los datos de barras (subidas y bajadas de pasajeros) corresponden a información de sensores en las puertas de entrada y salida del bus, sin embargo, dichos sensores no discriminan entre entradas y salidas. Si bien se espera que por la puerta trasera todas las marcas correspondan a bajadas, constantemente hay pasajeros que bajan por la puerta delantera y por tanto no es posible discriminar entre subidas y bajadas para las marcas en las barras delantera. Lo anterior tiene como consecuencia que aunque se pueda determinar aproximadamente la cantidad total de bajadas y subidas (todo lo que sube tiene que bajar), no es

posible determinar su distribución a lo largo del recorrido del bus (por paradas), lo cual es fundamental para el modelo.

Una vez definidos los parámetros de entrada al modelo, el siguiente paso corresponde a la programación del modelo de simulación con NetLogo a partir del cual se puedan obtener estadísticas de interés para el análisis, tales como la duración de recorridos, la cantidad de pasajeros movilizados y los tiempos promedio de espera de los usuarios (desde que arriban a una parada hasta la llegada del próximo bus con espacio disponible).

Si bien se ejecutaron varias simulaciones para verificar el funcionamiento del modelo, no es el objetivo del proyecto analizar los resultados brindados por dichas simulaciones, sino el desarrollo del modelo en sí y su parametrización para permitir realizar ejecuciones con diferentes entradas.

5. La propuesta de solución

Si bien el desarrollo del sistema multi-agentes en NetLogo es el producto final del proyecto, para llegar a este punto se debió realizar una etapa importante de análisis y procesamiento de los datos crudos para obtener los parámetros de entrada al modelo. Se describen en este apartado en primer lugar los procedimientos realizados en este sentido para posteriormente describir la propuesta del modelo.

5.1 Análisis y procesamiento de los datos

De acuerdo con los problemas descritos en el apartado anterior del presente informe se llevaron a cabo las siguientes tareas previas al desarrollo de modelo:

- **Generación de Base de Datos:** Los insumos de datos corresponden a archivos de Excel, uno para cada semana, bus y tipo de datos. Para un total de 30 buses y 3 semanas de 2 tipos de datos, correspondían cerca de 180 archivos. Se procedió a trasladar esta información a una base de datos MySQL para facilitar su manipulación, lo cual generó tablas iniciales de GPS de 854,184 registros y de barras de 546,736 registros.
- **Sincronización de datos de entrada:** Fue necesario ajustar las estampillas de datos de los

datos de GPS que se encontraban desfasados en 1 hora y 37 segundos respecto a los datos de barras.

- **Limpieza inicial de datos erróneos:** Se realizó el cálculo de velocidades para los buses entre datos consecutivos de posicionamiento. Se descartaron datos con velocidades superiores a 150 km/hora pues corresponden a errores de GPS.
- **Combinación de datos de GPS y barras:** A partir de las estampillas de tiempo en ambos tipos de datos se realizó la combinación que permitió asociar datos de posicionamiento a cada una de las marcas de las barras (subidas y bajadas de pasajeros). Dada la gran cantidad de registros en ambas tablas, el proceso de combinación no pudo realizarse desde base de datos y fue realizado en Excel mediante la utilidad de ordenamiento y la programación de una macro.
- **Limpieza de datos combinados:** Con los datos de posicionamiento para las marcas de barras (descartando el resto de información de localización de los recorridos) se procedió a desplegar gráficamente la información empleando una herramienta GIS (quantumGIS) y el plugin de OpenLayers que permite proyectar los puntos sobre un mapa de la zona provisto por el servicio GoogleMaps. A partir de esta visualización fue posible eliminar por selección, datos que no corresponden a las rutas establecidas de la periférica y que por tanto no eran de interés, tales como recorridos desde y hacia el parqueo de los buses y puntos en localizaciones fuera de rutas, que podrían corresponder por ejemplo a permanencias en talleres de reparación u otros casos particulares.
- **Discriminación de datos correspondientes a ruta L1:** Este paso fue el más complejo del análisis realizado pues corresponde a un problema de clasificación. En el paso anterior se lograron visualizar los diferentes recorridos de los buses que corresponden a las cuatro rutas de la Periférica, denominadas L1, L2, L3 y L4. Se definió utilizar la ruta L1 para la generación del modelo dado que las rutas L3 y L4 corresponden a recorridos de apoyo en ciertos horarios del día, siendo las rutas principales L1 y L2, que corresponden básicamente al mismo recorrido pero en sentido contrario. Como primer paso para la clasificación, se realizó un proceso de agrupamiento (*clustering*) a los datos empleando la herramienta de análisis estadístico R y su implementación del algoritmo *K-means*. Se

emplearon 100 nodos para el *clustering* de tal manera hubiesen puntos a lo largo de los diferentes recorridos y con el objetivo de reducir significativamente la cantidad de datos de análisis, dado para este propósito es posible descartar puntos correspondientes al mismo *cluster* que se encuentran de manera consecutiva. A partir de este conjunto de datos reducido se procedió a definir el modelo patrón del recorrido de la ruta L1 como la secuencia ordenada de identificadores de *cluster* que sigue un recorrido estándar localizado manualmente en los datos. Una vez definido esto, se estableció el patrón como la hilera formada por la concatenación de los identificadores de la secuencia del recorrido, de tal manera que se trasladó el problema de clasificación a la búsqueda de una expresión regular en los datos, convertidos también en hileras de identificadores de *cluster*. Esta búsqueda se implementó en un *script* en Python. Una vez definidos los puntos de inicio y fin de recorridos de la ruta L1 encontrados en la búsqueda, se procedió a sustituir los identificadores usados del *clustering* por unos más significativos: los identificadores de las 63 paradas del recorrido L1. Este paso se realizó también mediante un *script* en Python, que asignaba a cada dato el identificador de la parada espacialmente más cercana.

- **Obtención de estadísticas:** A partir de los datos de interés discriminados en el punto anterior, se procedió a obtener estadísticas que corresponden a los parámetros de entrada del modelo, a saber: Tiempos de recorrido entre paradas (para lo cual se contó con la colaboración de un grupo de estudiantes del curso de Probabilidad y Estadística de la Escuela), tasas de salidas de buses, tasas de arribo de pasajeros a las diferentes paradas y porcentaje de bajadas en cada parada respecto al total de pasajeros. Estos datos debieron generarse de manera independiente para 5 bloques horarios a saber: 5 a 6 de la mañana, 6 a 9 de la mañana, 9 de la mañana a 4 de la tarde, 4 de la tarde a 7 de la noche y 7 a 10 de la noche, considerando el siguiente criterio: separación de horas pico de la mañana y de la tarde, de tal manera que los datos en cada bloque tuviesen una distribución normal y los valores en los horarios picos presentasen diferencias significativas. Se descartaron datos de sábado y domingo para este análisis, puesto que el modelado interesa para los días de semana que son para los cuales se presenta una mayor demanda de usuarios. Otro aspecto importante es que el dato de

tasa de arribo de pasajeros corresponde únicamente a una aproximación obtenida de manera indirecta y no a un dato directo, pues lo único que se puede obtener es un promedio de arribo de pasajeros entre llegadas consecutivas de buses a una misma parada y considerar con dicha media una distribución de llegadas exponencial (usual para colas). Sin embargo, este procedimiento falla para los casos en que un bus llega lleno o casi lleno a una parada y no es posible que ingresen todos los usuarios que realmente arribaron a la parada. Para la obtención de este parámetro se requeriría un estudio en campo que determinara tasas reales de arribo de pasajeros. Asimismo, el porcentaje de bajadas en las paradas corresponde también a una aproximación, dado el problema de discriminación de subidas/bajadas en las barras delanteras del bus, por lo que no se cuenta con una distribución real de las subidas/bajadas en las diferentes paradas, sino únicamente un promedio general de las mismas.

5.2 Desarrollo del modelo en NetLogo

Una vez se contó con los parámetros de entrada al modelo, el siguiente paso fue la programación del modelo de simulación con NetLogo. Para ello se definieron en primer lugar los siguientes tipos de agente:

- **Agente parada:** Corresponde a un agente con ubicación fija y cuyo identificador determina la secuencia del recorrido que harán los buses. Cada agente de tipo parada almacena los parámetros estadísticos de arribo de pasajeros, duración de recorrido a la siguiente parada y porcentaje de bajadas para los diferentes bloques horarios, que permitirán generar en la simulación los valores aleatorios respectivos a partir de modelos de distribución exponencial para el arribo de pasajeros y de distribución normal para el resto. Para su implementación en NetLogo se utilizó la extensión gis que permitió capturar la información de ubicación de las paradas y los parámetros en un archivo tipo *shape* de ESRI.
- **Agente bus:** Equivalen a los buses reales que realizan el recorrido siguiendo la secuencia de paradas y recogiendo y bajando pasajeros en cada una. Para cada bloque horario se cuenta con los datos estadísticos (promedio y desviación estándar) de las salidas de tal manera que se generan buses en la parada inicial a partir de una distribución normal. Los buses “mueren” al llegar a la última parada del

recorrido, ya que no interesa modelar si es un mismo bus el que reinicia un nuevo recorrido sino que esto se determina siempre a partir de la tasa de salida de buses. El agente bus cuenta con una etiqueta que en todo momento indica la cantidad de pasajeros en el bus.

- **Agente pasajero:** Equivalente a los usuarios del servicio de transporte. Corresponde a personas que arriban a una parada dada de acuerdo con la tasa de arribos de la misma y una distribución de llegadas exponencial.

Se definieron además las siguientes interacciones entre los agentes:

- Al llegar a una parada, el agente bus baja en primer lugar “descarga” a un porcentaje de los usuarios en el bus, de acuerdo con el porcentaje de bajadas establecido en el agente parada. Asimismo, recoge a todos los usuarios en cola en dicha parada que puedan ingresar al bus, dada su capacidad. En este punto también se establece la velocidad que el bus tendrá en el recorrido hacia la siguiente parada, calculada a partir de la distancia entre paradas y el tiempo que le tomará, determinado por las estadísticas de duración de recorrido en esa parada (hacia la siguiente) y una distribución normal.
- Los agentes usuarios se crean a partir de las estadísticas de arribo obtenidas para cada parada y bloque horario y asignadas a cada agente parada. Los agentes usuarios mueren al subir al bus pues a partir de ahí se controla la estadística como un valor asociado al bus y el proceso de bajarse del bus puede simularse de igual manera con base en ese valor, puesto que posteriormente no hay ninguna interacción adicional de parte de los usuarios.

6. Desarrollo, prueba y validación

Una vez establecido el diseño del modelo expuesto en el apartado anterior, el desarrollo consistió en la implementación del mismo en NetLogo para lo cual se debió aprender a utilizar la herramienta, a partir de tutoriales y el manual de usuario.

Los inconvenientes presentados con respecto a los datos de entrada ya se han expuesto previamente y tienen consecuencias sobre la validez de los resultados del modelo, pero no sobre su diseño y funcionamiento. Con respecto a la implementación en sí, los obstáculos

encontrados se debieron principalmente al proceso de aprendizaje de la herramienta y particularidades del lenguaje, en el cual no se realizan ciertos procedimientos de manera estándar a la mayoría de lenguajes conocidos por el equipo de trabajo (por ejemplo, no se cuenta con un ciclo *for* como tal, sino que hay que emplear un ciclo *foreach* o *while*, además de no contar con funcionalidades para salir automáticamente de los mismos tipo *break*, sino que hay que implementarlos usando banderas).

Si bien la visualización de la simulación no es fundamental para el modelo y la obtención de resultados a partir del mismo, sí facilita la comprensión del mismo y la búsqueda de errores en código al poder visualizar comportamientos extraños del modelo, por

ejemplo. Por ello se optó por incorporar la extensión gis de NetLogo de tal manera que se representara con mayor fidelidad la ubicación de las paradas de la ruta y por tanto su relación espacial. De esta manera, se generó un archivo *shape* de puntos de ESRI con las ubicaciones de las paradas y se aprovechó este mismo archivo para incorporar la información estadística de entrada vinculada a cada parada, de tal forma que se compactará la información de entrada del modelo a un único archivo. Con el mismo objetivo de visualización, se proyectó como imagen de fondo el mapa de la zona obtenido de GoogleMaps.

En la Figura 1 se presenta una imagen del modelo desarrollado en ejecución.

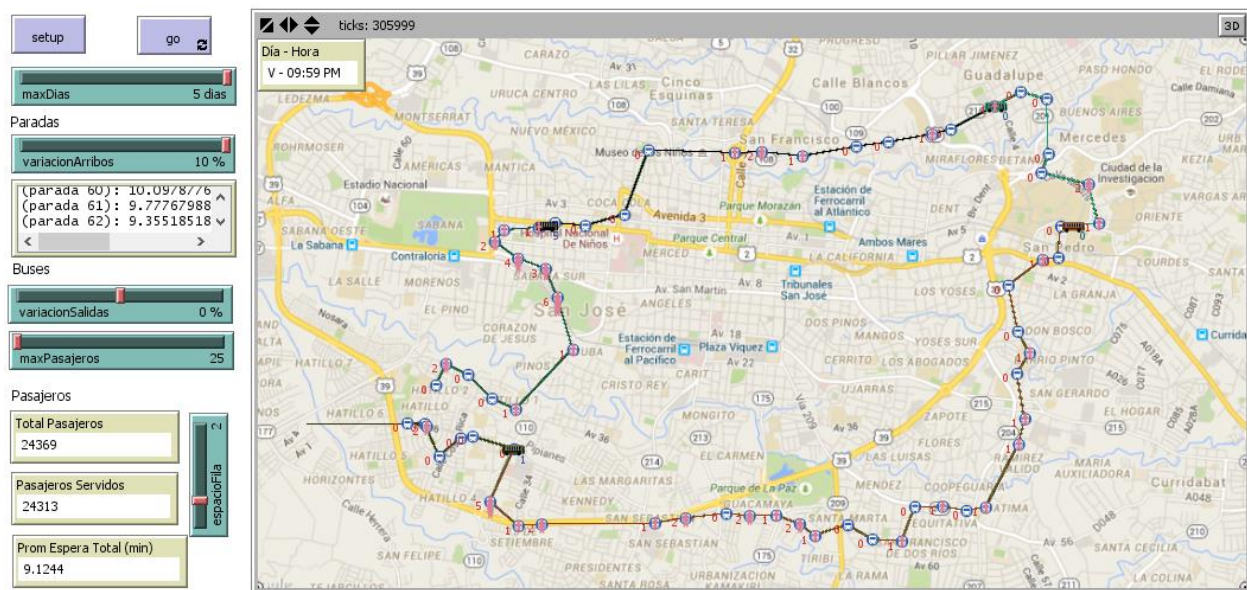


Figura 1. Modelo desarrollado en ejecución

7. Experimentación y análisis

Se realizaron diferentes pruebas de ejecución de la simulación del modelo de forma completa (para 5 días) para verificar que concluía correctamente y no se producían errores o comportamientos extraños de los agentes durante la ejecución. Dichas pruebas fueron satisfactorias.

Además, a pesar de que no interesaba analizar los resultados dadas las limitaciones ya establecidas de algunos de los parámetros de entrada, se registraron los

resultados obtenidos en 20 ejecuciones de la simulación para verificar si las estadísticas de salida se mantenían estables y convergían a valores similares en las diferentes corridas.

Esto se logró validar también, pues para las 20 ejecuciones se obtuvieron valores promedio cercanos de total de pasajeros servidos y tiempos de espera de usuarios, con desviaciones estándar relativamente bajas según se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 2. Estadísticas obtenidas para 20 ejecuciones del modelo

Parámetro	Promedio	Desviación estándar
Pasajeros servidos	26429 pasajeros	619.71 pasajeros
Promedio de espera total	9.169 minutos	0.169 minutos

También se realizaron pruebas para validar el correcto funcionamiento de los *sliders* que se colocaron para realizar variaciones porcentuales a los parámetros de entrada de modelo. Por ejemplo, se esperaría que si se reduce el tiempo de salidas de buses los tiempos de espera promedio de los usuarios se reduzca y ocurra lo contrario si se aumentan. Lo anterior se comprobó al realizar 20 ejecuciones con tiempos de salida reducidos en 10% y aumentados en 10%, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3. Promedios de espera obtenidos con variaciones porcentuales en los parámetros de entrada

Modificación del parámetro variaciónSalidas	Promedio
-10%	8.122 minutos
0%	9.169 minutos
+10%	10.065 minutos

En el caso de la variación porcentual de los arribos, podría también esperarse un incremento en los tiempos de espera de usuarios al haber más usuarios en fila y haber más posibilidad de que los buses se llenen sin poder dar servicio a todos los usuarios en cola. Sin embargo se obtuvo un promedio de espera muy similar al obtenido previamente (9.115 minutos), lo que puede interpretarse como que se da muy poca saturación del servicio a lo largo de la simulación, de tal manera que en la mayoría de los casos todos los usuarios en fila son servidos al llegar un bus a la parada. El mismo resultado e interpretación se da al realizar pruebas reduciendo la capacidad del bus. Este resultado está directamente relacionado con la obtención de los

parámetros de arribo de pasajeros de manera indirecta y refuerzan la necesidad de estudios adecuados para obtener los parámetros que alimenten al modelo.

8. Problemas abiertos y problemas futuros

El principal problema a resolver para la refinación del modelo de desarrollado consiste en la obtención de parámetros de entrada más confiables. En particular, según se mencionó previamente los datos de arribo de pasajeros generados corresponden a una aproximación indirecta que no es válida cuando la demanda de usuarios en una parada no es satisfecha. Para la obtención de valores realistas de este parámetro se requiere la realización de estudios de campo en las diferentes paradas.

Otro parámetro que requiere refinamiento es el correspondiente a las bajadas en cada parada. Para contar con valores adecuados de este parámetro es necesario realizar un estudio de campo que defina porcentajes de personas que bajan por la puerta del frente en las diferentes paradas y bloques horarios o bien, contar con datos obtenidos con sensores que sí logren discriminar subidas de bajadas.

Una vez que se cuente datos refinados para estos parámetros, podría pensarse en extender el modelo, en primer lugar para las otras 3 rutas de la Periférica empleando el procedimiento utilizado en este estudio. Posteriormente podrían combinarse los 4 modelos en uno solo que permita la simulación de la ruta Periférica de manera global y sus interacciones (por ejemplo un usuario puede utilizar indistintamente las rutas L1, L3 o L4 ya que coinciden en ciertos trayectos de recorrido, o bien determinar si para un origen y destino dados le conviene más utilizar la línea L1 o la L2 que hacen prácticamente el mismo recorrido pero en sentidos opuestos).

9. Agradecimientos

A la empresa de buses DISCAR (concesionarios de la ruta Periférica) por facilitar los datos utilizados. A los estudiantes del curso de Probabilidad y Estadística de la Escuela de Computación: Edgar Robles, Gabriel Vidaurre y Christian Durán por su colaboración en el análisis de tiempos de recorrido entre paradas.

10. Bibliografía

- Etienne, L.; Devogele, T. y Bouju, A. (2010) Spatio-Temporal Trajectory Analysis of Mobile Objects following the same itinerary. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 38, Part II.
- Herring, R. (2010) Real-Time Trac Modeling and Estimation with Streaming Probe Data using Machine Learning. University of California, Berkeley, USA.
- Hilse, K. (2005) Similar Pattern Search in History Data. Humboldt University, Berlin.
- Nijhuis, S. (2008) *Application of GPS Data in Geographic Information Systems*. Urbanism on Track. Application of tracking technologies in urbanism, Vol 1.
- Tissue, S. y Wilensky, U. (2004) NetLogo: A Simple Environment for Modeling Complexity. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling Northwestern University, Evanston, Illinois.
- Zheng Y., Liu L., Wang L. y Xie, X. (2008) Learning Transportation Mode from Raw GPS Data for Geographic Applications on the Web. Refereed Track: Mobility. China.
- NetLogo User Manual, Versión 5.2. Abril, 2015
<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/>