

Simulación de rutas en sistemas integrados de transporte público mediante computación paralela en entornos IoT

Juan Pablo Ruiz Rosero
Estudiante de Doctorado
Octubre 2 de 2015

1. Idea de investigación

Los ingenieros poseen las herramientas para dar solución a diferentes problemáticas, lamentablemente, estas problemáticas no siempre están a la vista. Cuando surge una problemática que puede ser resuelta mediante una de las mencionadas herramientas, nace una idea de investigación. Esta idea de investigación, lleva al investigador a realizar una búsqueda bibliográfica, con el fin de encontrar soluciones o experiencias que hayan abordado estas temáticas, para así plantear correctamente una pregunta de investigación (ver Figura 1)

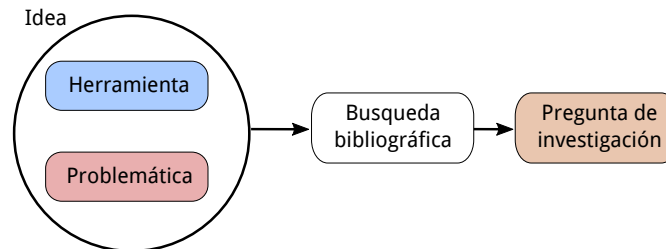


Figura 1: Idea de investigación

2. Herramienta: El Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas (IoT) es definido como: “Interconnection of **sensing and actuating devices** providing the ability to **share information** across platforms through a **unified framework**, developing a common operating picture for enabling innovative applications. This is achieved by seamless **ubiquitous sensing**, data analytics and information representation with Cloud computing as the unifying framework.” [1]

Las redes de sensores inalámbricas (WSN) dentro la IoT, ofrecen la capacidad de medir, inferir y entender las variables de ambientes urbanos, industriales, de transporte y hasta de seguridad nacional, entre otros [1]. Del mismo modo, gracias a las tecnologías inalámbricas abiertas como el Bluetooth, RFID, WiFi y las redes celulares; así como a los nodos sensores y actuadores conectados a estas redes; la IoT se encuentra al borde de transformar el actual Internet estático en un futuro Internet totalmente integrado [2].

3. Problemática: Sistemas integrados de transporte público (SITP)

Hoy en días existen diferentes sistemas integrados de transporte publico en el mundo, como el Transantiago de Santiago de Chile, el Metro de Rio de Janeiro, el Metroplus de la ciudad de Medellín, y Transmilenio de Bogotá, entre otros. Transmilenio es uno de los sistemas integrados de transporte público más grandes del mundo, que junto al SITP suman más de 8.825 buses (1.636 para Transmilenio y 7.189 para el SITP) [3, 4], con 115.5 Km de vías troncales, más de 140 estaciones y 9 portales, que en conjunto movilizan en promedio más de 2.300.000 pasajeros diarios [5]. Actualmente, ste sistema, cuenta con diferentes pro y contra:

- Pro:
 - Tiempos de movilidad reducidos. 45 min promedio
 - Información en vivo de todo el sistema.
- Contra:
 - Sistema al borde de su capacidad.
 - Un mal manejo de la información disponible.

Al centro de control de Transmilenio, le llega información sobre la ubicación de cada uno de los articulados del sistema. Esta información es utilizada por los operadores con el fin de distribuir de manera eficiente los buses para soportar la demanda por parte de los usuarios. Desafortunadamente, este es un método poco efectivo, ya que cada operador se encarga de al rededor de 80 buses, en donde depende de la experiencia del operador, el correcto y eficiente empleo de sus buses asignados.

3.1. Simulación de tráfico en un sistema integrado de transporte

La simulación de tráfico, es un método ampliamente usado en las investigaciones para el modelamiento de los SITP, permitiendo a su vez el desarrollo y planeamiento de sus redes [6]. Este tipo de simulaciones maneja tres diferentes modelos: macroscópico, microscópico o mesoscópico [7]. En los modelos de simulación macroscópica se tiende a simular el tráfico como un flujo continuo, utilizando en ocasiones teorías de flujos hidráulicos, sin considerar individualmente a los vehículos [7, 8, 9]. Por su lado, los modelos microcopicos describen el comportamiento de las entidades que componen el flujo de tráfico (los vehículos), así como sus interacciones en detalle [10, 11]. Por su parte, los modelos mesosopicos mezclan elementos de los modelos macroscópicos y microscópicos en una sola aproximación, describiendo las entidades de tráfico desde un alto nivel y el comportamiento e interacciones de las mismas desde un nivel más bajo [10, 12].

3.2. Problemática: Simulación

Estas herramientas de modelamiento se ven limitadas cuando se desea simular un sistema de transporte publico completo de una gran ciudad. Diferentes estudios han encontrado que el problema de simulación de sistema integrado de transporte público es un problema NP-duro de gran escala, por lo cual no es posible la obtención de resultados globales debido al tamaño del sistema [13, 14]. Este tipo de simulaciones, solo permiten la optimización de recursos locales y no una optimización global.

3.3. Búsqueda bibliográfica en IoT

Para este estudio, se realiza un análisis bibliométrico con el fin de encontrar tendencias y nichos de investigación. Este análisis bibliométrico tiene las siguientes características:

- Web of Science (WoS) como fuente de artículos científicos indexados en ISI Web of Knowledge.
- La descarga del Full Record de los artículos en WoS.
- Análisis de tendencias por numero de publicaciones por año (mediante la herramienta web de WoS).
- Análisis de número de publicaciones por Temática o Keywords con los scprints de la herramienta libre BiblioTools.

3.3.1. Crecimiento general del número de publicaciones

Se realiza un análisis general del numero de publicaciones por año, en los artículos indexados en WoS, con el fin de determinar el índice de crecimiento general de las publicaciones (ver Figura 2). Esta figura presenta un crecimiento de 67 mil publicaciones por año, equivalentes al 4%. Esto indica que, temáticas con crecimiento menores al 4% solo representan el crecimiento propio de la tendencia global.

3.3.2. Internet de las Cosas (IoT)

Se realiza un análisis sobre el numero de publicaciones indexadas en WoS que tratan temas del “Internet de las Cosas”. La Figura 3, muestra un crecimiento exponencial en el numero de artículos, con un crecimiento del 27% en el último año. Esta información muestra un fuerte tendencia por parte de la comunidad científica en esta temática. Igualmente se realiza un análisis sobre los sub temas en los cuales estos artículos han sido clasificados (ver Figura 4)

Se identifica que entre las primeras 50 sub temáticas más importantes del Internet de las Cosas se encuentra la temática de “Ciencias y Tecnologías del Transporte”. Partiendo de esta base se decide investigar la tendencia del número de publicaciones por año en el IoT y temáticas de Tráfico y Transporte (ver Figura 5). Esta figura muestra también un crecimiento exponencial de publicaciones sobre el Internet de las Cosas relacionado con el Tráfico y Transporte, con un crecimiento mayor al 100% en los últimos años. Esta tendencia se ve reflejada gracias a que el IoT permite que los datos de tráfico en una red de transporte cada día sean más y más ubicuos, brindando así mayores detalles de la red[15]. Esta tendencia es tan marcada, que en la actualidad

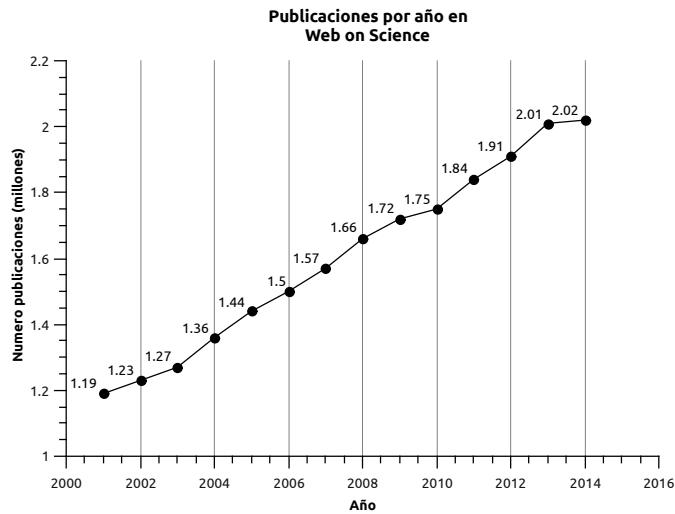


Figura 2: Crecimiento de artículos indexados en Web of Science, de 2001 a 2014. Total artículos: 22.45 millones

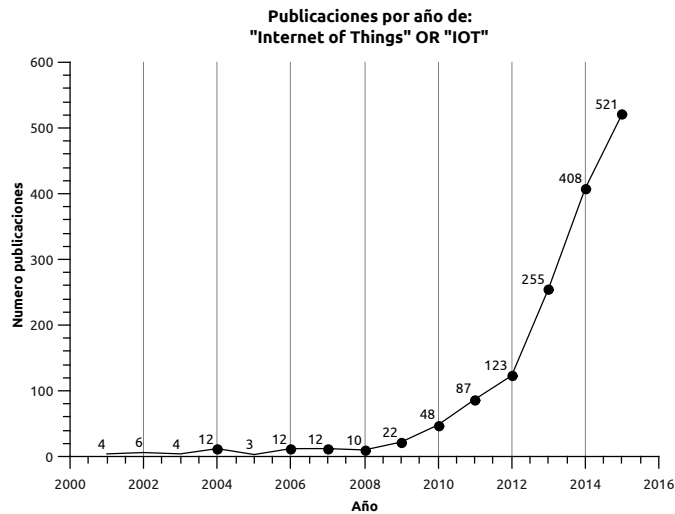


Figura 3: Crecimiento de artículos indexados en Web of Science, sobre el Internet de las Cosas. Total artículos: 1529

los sistemas de gestión de tráfico modernos están evolucionando hacia un sistema de transporte inteligente basado en el IoT [16].

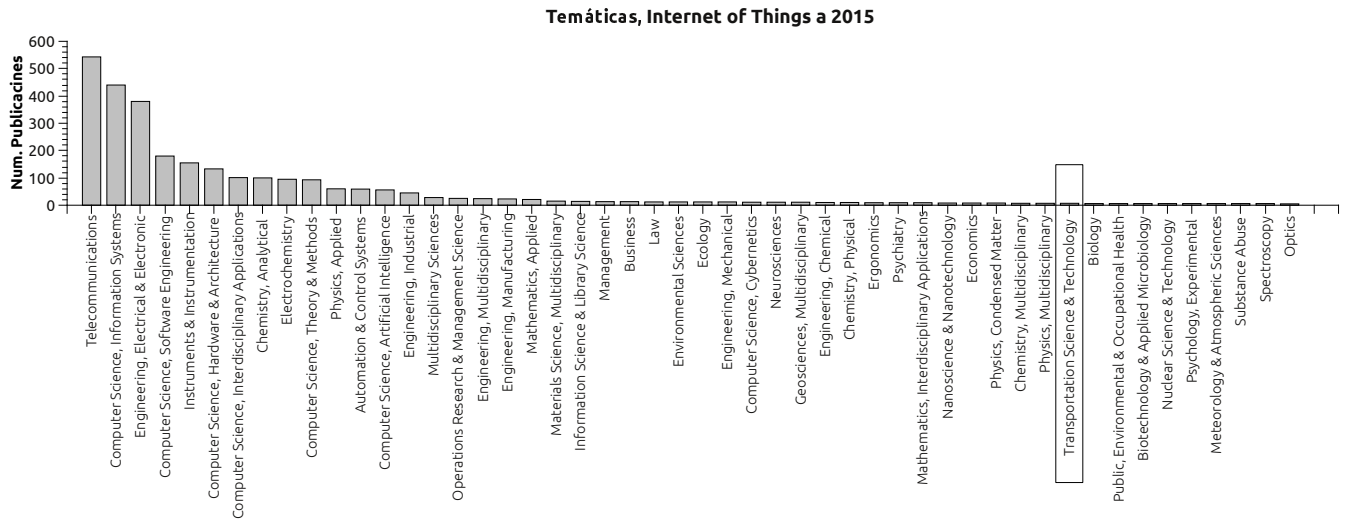


Figura 4: Numero de publicaciones por sub temáticas dentro de la temática el Internet de las Cosas. Total artículos: 1529

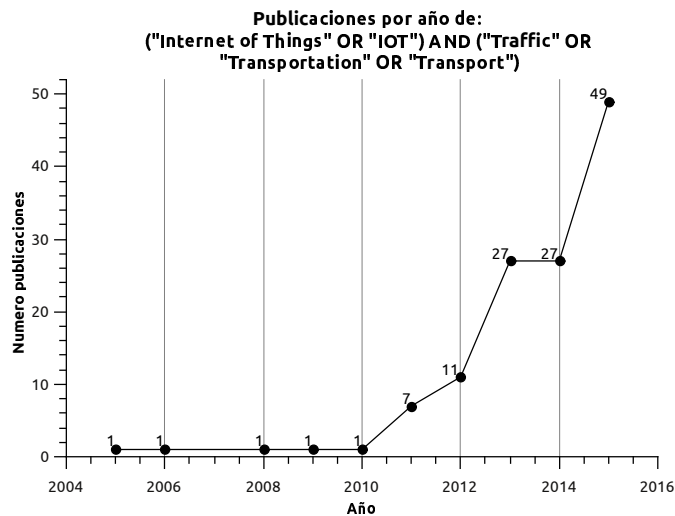


Figura 5: Numero de publicaciones sobre el Internet de las Cosas y Tráfico o Transporte. Total artículos: 111

3.3.3. Tráfico y Transporte

Una vez encontrado que el IoT representa en la actualidad la base de la información y datos para los sistemas de gestión de tráfico modernos, se procede a consultar las tendencias de investigación sobre este tipo de temáticas, partiendo de la temática “Tráfico y Transporte”(ver Figura 6). Se encuentra un crecimiento constante, con un porcentaje de crecimiento promedio del 10 % en los últimos años, llegando a 1324 publicaciones en el año 2014. Es una temática amplia, con más de 12 mil publicaciones desde el 2001. Por esta razón, se decide realizar un análisis de las palabras claves (o keywords) más empleadas (ver Figura 7).



Figura 6: Numero de publicaciones sobre el Tráfico y Transporte. Total artículos: 12411

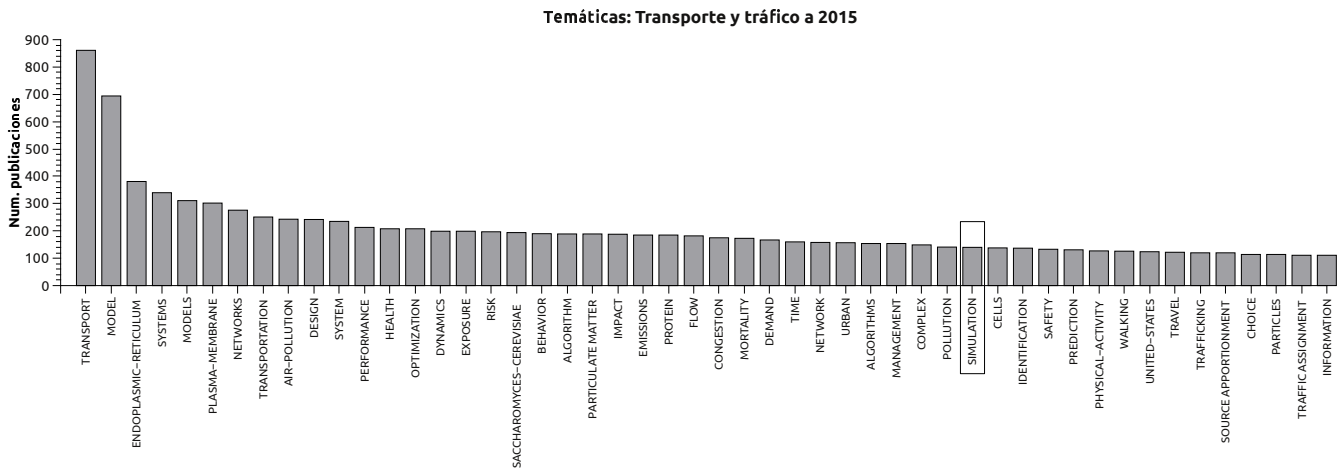


Figura 7: Numero de publicaciones por palabras claves dentro de la temática el Tráfico y Transporte. Total artículos: 12411

La palabra clave “Simulación”, tema principal de esta propuesta, sobresale entre las 50 primeras más empleadas (ver Figura 7). Con el fin de ver la tendencia de publicaciones en esta área, se realiza una nueva búsqueda sobre “transporte, tráfico y simulación” (ver Figura 8). Esta sub temática presenta un crecimiento del 15 % en los últimos años, mostrando un fuerte interés por parte de la comunidad científica.

Con el fin de conocer las sub temáticas y los nichos de investigación, se divide el área de “transporte, tráfico y simulación” en el numero total de publicaciones por palabras claves (ver Figura 9). En esta figura, se encuentran que existen diversos estudios que tratan temas sobre sistemas de transporte inteligente, flujos de tráfico, asignación de tráfico dinámico, modelado, entre otros. Sin embargo, los temas de computación paralela dentro de la simulación de tráfico

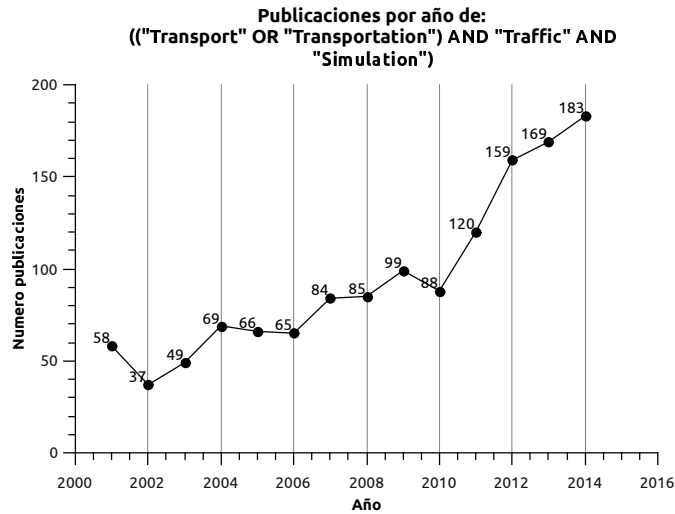


Figura 8: Numero de publicaciones por año dentro de la temática el Tráfico, Transporte y Simulación. Total artículos: 1483

y transporte, no han sido ampliamente abordados por parte de la comunidad científica, teniendo únicamente un total de 7 artículos, de los cuales, después de un primer filtro, solo 5 de ellos tratan el tema del interés de esta investigación como tal.

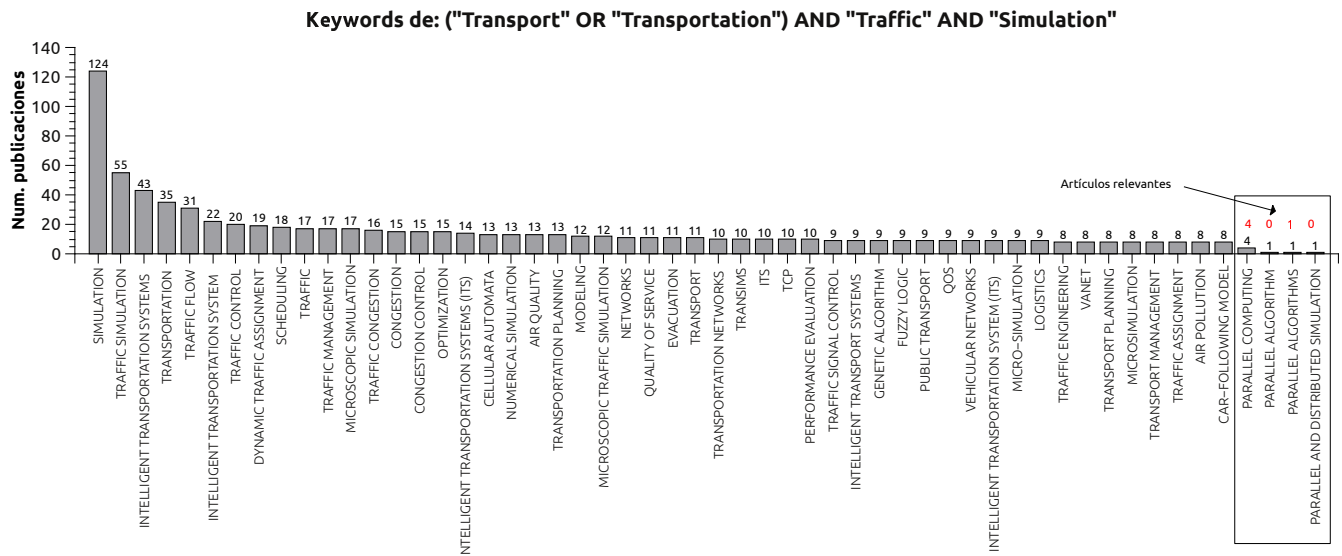


Figura 9: Numero de publicaciones por palabras claves dentro de la temática el Tráfico, Transporte y Simulación. Total artículos: 1483

Una vez realizado este filtro, se obtienen los artículos descritos en la Tabla 1, en donde se destaca el estudio de Nagel. Nagel, en su publicación titulada “Parallel implementation of the TRANSIMS micro-simulation” señala que el método de paralelización debe ser una descomposición de dominios,

No	Autor	Año	Revista	Título
1	Nagel K	2001	PARALLEL COMPUT	Parallel implementation of the TRANSIMS micro-simulation
2	Cetin N	2002	COMPUT PHYS COMMUN	Large-scale multi-agent transportation simulations
3	Raney B	2002	LECT NOTES COMPUT SC	Towards a microscopic traffic simulation of all of Switzerland
4	Raney B	2003	NETW SPAT ECON	An Agent-Based Microsimulation Model of Swiss Travel: First Results
5	Kattan L	2012	IEEE T INTELL TRANSP	Sensitivity Analysis of an Evolutionary-Based Time-Dependent Origin/Destination Estimation Framework

Tabla 1: Lista de artículos sobre Transporte, Tráfico y Simulación

en donde cada CPU de una computadora en paralelo es responsable de simular una diferente área geográfica de la región total [17]. Igualmente, Nagel realiza una estimación de la eficiencia de la simulación del sistema de transporte público de Portland - Oregon (E.U.), en donde demuestra que para el tipo de conexiones existente entre computadores a la fecha (año 2001) la eficiencia de la simulación en paralelo para 1024 CPU caía por debajo del 1 %, mientras si se dispone de una conexión de una supercomputadora de la época, la eficiencia no cae por debajo del 80 % [17]. Esto demuestra que los sistemas modernos de procesamiento en paralelo, pueden manejar la carga de múltiples regiones geográficas sin perder mucha eficiencia.

4. Pregunta de investigación

¿Cómo simular la asignación de rutas de un sistema integrado de transporte público mediante computación paralela?

5. Hipótesis

Diseñar un entorno de simulación mediante computación paralela, que permita simular la asignación de rutas en sistemas integrados de transporte público, en entornos IoT.

6. Objetivos

6.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de simulación de rutas en sistemas integrados de transporte público mediante computación paralela, en entornos IoT

6.2. Objetivos Específicos

- Realizar un estudio sobre las variables relevantes que brindan los entornos IoT para la simulación de sistemas integrados de transporte público.
- Diseñar un módulo de simulación basado en computación paralela de variables determinantes que permitan modelar de una manera consistente un sistema integrado de transporte público.
- Validar el módulo de simulación con los datos de un sistema integrado de transporte público real.

Bibliografía

- [1] Jayavardhana Gubbi, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic, and Marimuthu Palaniswami. Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7):1645–1660, 2013.
- [2] Lu Yan, Yan Zhang, Laurence T Yang, and Huansheng Ning. *The Internet of things: from RFID to the next-generation pervasive networked systems*. CRC Press, 2008.
- [3] TRANSMILENIO S.A. El sitp en camino al 100
- [4] El Tiempo. Transmilenio aumentará la flota de buses para evitar retrasos en rutas, 2014.
- [5] Jaime García. Coyuntura/ transmilenio hacia el futuro, Septiembre 2014.
- [6] G Kotusevski and KA Hawick. A review of traffic simulation software. 2009.
- [7] Wilco Burghout and Johan Wahlstedt. Hybrid traffic simulation with adaptive signal control. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2015.
- [8] Ch Buisson, JP Lebacque, and JB Lesort. Strada, a discretized macroscopic model of vehicular traffic flow in complex networks based on the godunov scheme. In *CESA '96 IMACS Multiconference: computational engineering in systems applications*, pages 976–981, 1996.
- [9] Wilco Burghout. Mesoscopic simulation models for short-term prediction. *Royal Institute of Technology*, 2005.
- [10] Ramachandran Balakrishna, Constantinos Antoniou, Moshe Ben-Akiva, Haris Koutsopoulos, and Yang Wen. Calibration of microscopic traffic simulation models: Methods and application. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2015.
- [11] Vincenzo Punzo and Antonino Tripodi. Steady-state solutions and multiclass calibration of gipps microscopic traffic flow model. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2015.
- [12] Tom Van Woensel and Nico Vandaele. Modeling traffic flows with queueing models: a review. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 24(04):435–461, 2007.
- [13] M Valbuena and D Hidalgo. *Propuesta metodológica para la evaluación de rutas del sistema TransMilenio*. PhD thesis, Tesis Magíster Ingeniería Civil, Universidad de los Andes, Bogotá, 2002.
- [14] Miguel Ángel Ortiz and Juan Pablo Bocarejo. Transmilenio brt capacity determination using a microsimulation model in vissim. In *Transportation Research Board 93rd Annual Meeting*, number 14-5116, 2014.
- [15] Xiaolei Ma, Haiyang Yu, Yunpeng Wang, and Yinhai Wang. Large-Scale Transportation Network Congestion Evolution Prediction Using Deep Learning Theory. *PLOS ONE*, 10(3), MAR 17 2015.
- [16] Hasan Omar Al-Sakran. Intelligent Traffic Information System Based on Integration of Internet of Things and Agent Technology. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED COMPUTER SCIENCE AND APPLICATIONS*, 6(2):37–43, FEB 2015.
- [17] Kai Nagel and Marcus Rickert. Parallel implementation of the transims micro-simulation. *Parallel Computing*, 27(12):1611–1639, 2001.