

Sistema web y móvil híbrido para la recolección muestral de datos sobre flujo vehicular en la zona de regeneración urbana de la ciudad de Loja, Ecuador

Mobile and web hybrid system for Data sample collection on vehicular flow in the urban regeneration area in Loja city

SARANGO, Pablo G. [1](#) y DÍAZ, Boris M. [2](#)

Recibido: 04/06/2019 • Aprobado: 28/02/2020 • Publicado 12/03/2020

Contenido

[1. Introducción](#)

[2. Metodología](#)

[3. Resultados](#)

[4. Conclusiones](#)

[Referencias bibliográficas](#)

RESUMEN:

El artículo muestra el proceso llevado a cabo para el desarrollo de un sistema para recolección de datos sobre flujo vehicular. El sistema automatiza la técnica del vehículo flotante, como técnica para la recolección. Fue puesto a prueba por la Unidad Municipal de Tránsito, Transporte Terrestre y Seguridad Vial de la ciudad de Loja, Ecuador. Los datos recolectados y la información generada por el sistema evidencian puntos de congestión vehicular en la zona urbana.

Palabras clave: Congestión vehicular, flujo vehicular, vehículo flotante, mobile-d, aplicación móvil

ABSTRACT:

This article shows the process carried out for a system development for data collection about vehicular flow. The system automates the "floating car technique" as a technique for gathering. It was tested by "Unidad Municipal de Tránsito Transporte Terrestre y Seguridad Vial" in Loja city. Data collection and generation of information by the system evidence points of vehicular congestion in the urban area.

Keywords: Vehicular congestion, vehicular flow, floating car, mobile-d, mobile application

1. Introducción

El crecimiento de la economía ecuatoriana (INEC, 2010) favoreció que una gran cantidad de personas pudiera mejorar su calidad de vida. El aumento de la capacidad adquisitiva llevó a la mayor parte de la sociedad a tener acceso a una variada gama de productos y servicios. Un sector que creció de manera vertiginosa es el automovilístico. Entre los años 2008 y 2016 el número de vehículos matriculados en el país tuvo un crecimiento anual del 10,6% (INEC, 2016).

El crecimiento de la población, y sus necesidades de transporte, unido al aumento de vehículos generan un grave problema en sectores urbanos en todo el mundo: la congestión vehicular. Su principal origen es el uso masivo de vehículos de transporte, tanto particulares como de servicio público. Esta situación genera una disminución de las velocidades de circulación, por lo que el

costo por viaje aumenta, se genera mayor consumo de combustible, incremento del tiempo de traslado, se intensifican las emisiones de gases tóxicos (CO₂) a la atmósfera, se produce contaminación acústica, entre otros (Bull, 2013).

Poseer información sobre puntos de congestión vehicular podría ayudar a realizar esfuerzos para mitigar el problema. Además, serviría como fuente de datos para proyectos de ingeniería de tránsito o de apoyo en trabajo de planificación urbanística. La información se genera a partir de la toma de muestras en escenarios reales, por lo que el estudio de una red vial completa requiere una gran inversión. La automatización de este proceso implicaría una disminución del costo.

El propósito del artículo es mostrar el proceso realizado para el desarrollo del sistema de software para recolección de datos sobre flujo vehicular, particularmente en la zona de regeneración urbana de la ciudad de Loja, Ecuador. Las siguientes secciones están organizadas de la siguiente manera: en la sección 1 se presenta el marco conceptual, definiciones preliminares y trabajos relacionados con el tema de estudio; en la sección 2 se presenta la metodología; en la sección 3 se muestran los resultados; y en la sección 4 se detallan las conclusiones.

1.1. Congestión vehicular

La creciente población ecuatoriana (INEC, 2010) por medio de sus actividades de comercio, trabajo, ocio, educación y de cualquier índole, ha intensificado la demanda de transporte. Más aún, la necesidad no es exclusiva de personas, sino que numerosos artículos de consumo masivo requieren ser movilizadas.

Se puede considerar al aumento del parque automotor como una posible solución. Situación existente en el país, según el Instituto Nacional Estadísticas y Censos (INEC, s. f., 2014, 2016). Sin embargo, una mayor cantidad de vehículos en circulación no necesariamente representa una solución al problema, pero sí genera reducción de velocidades, aumento del tiempo de viaje, aumento del costo por viaje, incremento del consumo de combustible y, sobre todo, una mayor contaminación atmosférica y acústica (Bull, 2013). Se puede entender que la congestión vehicular hace referencia a la presencia de una cantidad elevada de vehículos en una vía, cuyo movimiento es lento e irregular. Esta apreciación es válida para la percepción de la ciudadanía, pero no es completamente objetiva. Una definición objetiva sería "la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta la demora de los demás en más de x%" (Thomson & Bull, 2002). En la definición anterior se menciona un nuevo concepto, fundamental para el desarrollo del presente trabajo: flujo de tránsito o flujo vehicular.

1.2. Flujo vehicular

Según Gibson (2001), el flujo de tráfico es el número de vehículos que atraviesan una determinada sección de la vía por unidad de tiempo. Por su parte, Transportation Research Board (2000) lo define como "la velocidad por hora equivalente a la que los vehículos pasan por un punto o sección de un determinado carril o carretera durante un intervalo de tiempo determinado, menor a una hora, generalmente 15 minutos". Ambas definiciones proporcionan variables cuantitativas, que dependiendo de la metodología o estrategia que se escoja se pueden medir con mayor o menor precisión.

Profundizando en el estudio del flujo vehicular, Mozo Sánchez (2012) determina tres características fundamentales: el flujo, la velocidad y la densidad. Es importante determinar las relaciones entre ellas para conocer las propiedades particulares de una corriente de tránsito. De igual manera, las tres variables representan la calidad de servicio del usuario de una vía. Estas tres características se describen a continuación.

1.2.1. Velocidad

Para el caso, la velocidad se define como la distancia o longitud de segmento dividida por el intervalo de tiempo transcurrido en el desplazamiento (Cao, Zuo, & Xu, 2014; Hugh & Freedman, 2009; Jin, 2016; Jin & Zhang, 2013; Kerner, 2015; L. Li & Chen, 2017; Nafi, Hasan, & Abdallah, 2012; Pan, Popa, Zeitouni, & Borcea, 2013; Transportation Research Board, 2000). En el Manual de Capacidad de Carretera 2000 (Transportation Research Board, 2000) se toma como base la velocidad promedio como medida de velocidad, por su facilidad de cálculo mediante observaciones de vehículos dentro de una vía.

La velocidad promedio se calcula dividiendo la longitud de la vía o segmento de vía entre el tiempo de viaje promedio de los vehículos que transitan por ella (Corriere, Peri, La Rocca, & Rizzo, 2012;

Hugh & Freedman, 2009; Kong et al., 2016; Mozo Sánchez, 2012; Transportation Research Board, 2000; Zhang & Song, 2012).

1.2.2. Volumen o intensidad de tránsito

El volumen es la cantidad de vehículos que transitan por una sección o segmento de carril durante un intervalo de tiempo (GUAN, HE, & MA, 2012; Jiao, Liang, & Rao, 2015; Jin, 2016; Jin & Zhang, 2013; Kerner, 2015; Kong et al., 2016; L. Li & Chen, 2017; Mozo Sánchez, 2012; Nafi et al., 2012; Pan et al., 2013; Qian, Feng, & Zeng, 2017; Transportation Research Board, 2000; Zhang & Song, 2012). De esta forma su medida sería de vehículos por unidad de tiempo. Un intervalo de tiempo suele ser un periodo significativo, que permita obtener resultados válidos. Por esta razón, los intervalos son anuales, diarios, por hora o fragmento de hora.

1.2.3. Densidad

La densidad se establece como el número de vehículos que ocupan una determinada sección o segmento de carril en un instante en particular (Cao et al., 2014; GUAN et al., 2012; Jin, 2016; Jin & Zhang, 2013; Kerner, 2015; Kong et al., 2016; D. W. Li & Wang, 2012; L. Li & Chen, 2017; M. Li et al., 2017; Mozo Sánchez, 2012; Nafi et al., 2012; Pan et al., 2013; Qian et al., 2017; Transportation Research Board, 2000). Esta característica del flujo vehicular es una de las más importantes, pues permite conocer la demanda de tránsito. Sin embargo, su medición es altamente complicada. Se requiere de dispositivos costosos y una ubicación específica para poder fotografiar o grabar en vídeo longitudes significativas.

1.3. Vehículo flotante

La recolección de datos sobre flujo vehicular debe estar guiada por alguna técnica que permita realizar el trabajo de forma estructurada y sistemática. El proyecto se enfocó en el estudio de la técnica del vehículo flotante. La técnica se basa en introducir un vehículo en el tránsito de una vía, de tal manera que adelante a la misma cantidad de vehículos que lo adelantan a él (González Garrido, 1999; Marler & Montgomery, 1993; Vargas, 2002).

El vehículo "flota" dentro del flujo de tránsito. Para que el estudio sea válido o significativo se deben realizar varios recorridos sobre la misma ruta. Estas repeticiones se deben ejecutar en horarios representativos, con el fin de conocer la situación real del tránsito vehicular durante 24 horas. Por lo que se deberían establecer recorridos durante horas pico matutinas, vespertinas, periodos fuera de pico o cualquier intervalo que se requiera estudiar. La cantidad de repeticiones dependerá de la exactitud de la medición que se desee, pero se recomiendan entre 3 y 6 recorridos por ruta (González Garrido, 1999; Marler & Montgomery, 1993). Dependiendo de la zona de estudio se debe emplear un automotor con características similares a los que circulan habitualmente por la carretera. El conductor no debe permitir que su estilo de conducción se altere debido a las presiones propias de la encuesta. Por su parte, González Garrido (1999) recomienda que en situación de tráfico intenso se exija al conductor ir a la máxima velocidad posible.

Las ventajas principales de la técnica del vehículo flotante son la medición directa de los tiempos de duración de viaje y los retrasos, y la experiencia personal sobre la causal de la demora (Marler & Montgomery, 1993). Se debe considerar que la información es muy detallada sobre el origen, el destino y la ruta; se puede conseguir una cantidad elevada de aplicaciones; y, se puede llegar a cubrir la totalidad de una red vial (Cohn & Bischoff, 2012).

Las desventajas que presenta la técnica son: que el vehículo exceda los límites de velocidad y el alto coste de realización de un estudio de una red vial completa (Cohn & Bischoff, 2012; Marler & Montgomery, 1993). Para este último inconveniente, la literatura propone el uso de taxis a modo de vehículo flotante (Schäfer, Thiessenhusen, & Wagner, s. f.; Sevlian, s. f.). Este medio de transporte, en numerosas ciudades, cuenta con un sistema de monitoreo mediante GPS (Hu, An, & Wang, 2018; Santisteban & Aranzaens, 2015; Xiao, He, & Ma, 2018), por lo que usarlo como recolector de datos es una propuesta válida e interesante. De esta manera, se podría cubrir en su totalidad la red vial de una ciudad, convirtiendo a la técnica del vehículo flotante en una elección de bajo costo.

La ruta a seguir por el vehículo debe ser representativa dentro de la red vial, por lo que se debe tomar en consideración lo siguiente (Marler & Montgomery, 1993): la mayoría de las vías son de doble sentido, por tanto, deben estudiarse ambas direcciones; las rutas circulares son fáciles de operar; las rutas con cambios de sentido (giro en U) pueden generar problemas de seguridad y demora, en estos casos, es mejor tener dos vehículos circulando en direcciones opuestas; en estudios donde se requieran más de un vehículo, una buena opción es establecer una ruta corta

por vehículo; en trabajos de antes y después, las rutas elegidas para el estudio anterior deben ser las mismas que se empleen en el estudio posterior.

1.4. Trabajos relacionados

La literatura refleja estudios con enfoques variados, con un mismo fin. Se destacan los modelos macroscópicos y microscópicos (J. Álvarez, s. f.; P. Álvarez & Hadi, 2014; Bernal et al., 2014; De Jesús & Mejía, 2016). También, se revelan trabajos con visión artificial (Andrés Felipe Granados, Jorge Iván Marín H., 2007), con sensores basados en lazo inductivo (Alpizar Arteaga & del Risco Sánchez, 2012), con agentes inteligentes (Castán, Ibarra, Laria, Guzmán, & Castán, 2014). Un interesante trabajo fue desarrollado en la ciudad de Quito mediante el uso de herramientas de Big Data en conjunto con la red social Twitter. En el proyecto se detalla el uso de datos generados por sensores colocados en puntos estratégicos, y datos obtenidos mediante Twitter. Posterior al análisis de ambos grupos de datos, se presentan los resultados que servirían de apoyo en la toma de decisiones, en situaciones de congestión vehicular (Herrera, Luján, & Gómez, 2018).

En ingeniería de tránsito existen varias técnicas para realizar el conteo de vehículos o tomar muestras en una vía o red vial (Slinn, Matthews, & Guest, 2005). En estudios previos (González Garrido, 1999; Slinn et al., 2005), se detalla el proceso de ejecución de la técnica del vehículo flotante mediante procesos manuales, incluyendo dispositivos como: cronómetros, documentos técnicos, encuestas, entre otros. Varios autores han centrado su esfuerzo en el empleo de esta técnica combinada con otros elementos para generar información del tráfico. Otros autores emplean la técnica del vehículo flotante en conjunto con la información del GPS de taxis de la ciudades de Berlín, Nuremberg y Viena, para desarrollar un sistema de información de tráfico en tiempo real (Schäfer et al., s. f.). Existe un trabajo donde se hace uso de técnicas de machine learning con datos de vehículos flotantes para estimar tiempos de viaje en carreteras en la ciudad de Nueva Delhi (Sevlian, s. f.).

2. Metodología

2.1. Objetivo

Desarrollar un sistema web y móvil híbrido para recolección muestral de datos sobre flujo vehicular en la zona de regeneración urbana de la ciudad de Loja, Ecuador.

2.2. Proceso y Método

El correcto desarrollo del proyecto implica determinar propiedades cuantitativas de flujo vehicular. Para ello se realizó una Revisión Sistemática de Literatura (SLR), cuyo proceso se describe en Kitchenham (2004).

2.2.1. Revisión Sistemática de Literatura

2.2.1.1. Planificación de la Revisión Sistemática de Literatura

2.2.1.1.1 Objetivo

La determinación del flujo de tránsito de una vía o red vial se ve influido por otras propiedades físicas, por lo que se decide realizar una SLR para identificar y seleccionar trabajos científicos que proporcionen información que contribuyan con el objetivo de la revisión: "Determinar las propiedades cuantitativas que intervienen en el flujo vehicular de una vía".

Kitchenham (2004) manifiesta la necesidad de creación de un protocolo de revisión con la finalidad de reducir el sesgo del investigador. En este protocolo se establecen las preguntas de investigación, fuentes y cadenas de búsqueda, criterios de inclusión y exclusión, y la estrategia para la extracción y síntesis de datos.

2.2.1.1.2. Pregunta de investigación

Se plantea la siguiente pregunta de investigación: *¿Cuáles son las propiedades cuantitativas del flujo vehicular?*

2.2.1.1.3. Palabras clave

Para determinar las palabras clave se realizó una revisión preliminar de información basada en artículos, libros, manuales y ponencias. El resultado fue: *Traffic volumen, vehicular traffic, traffic flow, traffic density, flow rate, flow speed*.

2.2.1.1.4. Selección de fuentes de búsqueda

El proceso continúa con la selección de fuentes de búsqueda. Como criterios de selección se emplearon: la accesibilidad, y la posibilidad de realizar búsquedas avanzadas. La Tabla 1 detalla las fuentes escogidas.

Tabla 1
Fuentes de búsqueda.

Fuente de búsqueda	Dirección web
SCIENTIFIC	https://www.scientific.net
IEEE EXPLORER	https://ieeexplore.ieee.org
GOOGLE SCHOLAR	https://scholar.google.com

2.2.1.1.5. Cadena de búsqueda

Con la selección de base de datos y la determinación de las palabras clave, se procede a desarrollar las posibles consultas empleando el operador lógico AND. Como resultado se obtienen las cadenas de búsquedas detalladas en la Tabla 2.

Tabla 2
Cadenas de búsqueda

Fuentes de búsqueda	Identificación	Cadena de búsqueda
SCIENTIFIC	CB01	("Traffic Flow" AND "Vehicular Traffic" AND "Flow Rate")
	CB02	("Traffic Volumen" AND "Traffic Density" AND "Traffic Speed")
IEEE EXPLORER	CB03	((("Abstract":Traffic Flow) AND "Abstract":Vehicular Traffic) AND Flow Rate)
	CB04	((("Abstract":Traffic Volumen) AND "Abstract":Vehicular Density) AND Traffic Speed)
GOOGLE SCHOLAR	CB05	("traffic flow" AND "vehicular traffic" AND "flow rate")
	CB06	("traffic volumen" AND "traffic density" AND "traffic speed")

2.2.1.1.6. Criterios de inclusión

La selección de estudios primarios se basa en la definición y aplicación de criterios de inclusión y exclusión. Los criterios de inclusión tienen la finalidad de exponer documentos que determinen las

variables cuantitativas del flujo vehicular.

Tabla 3
Criterios de inclusión

ID	Criterios de inclusión
CI_01	Artículos publicados en revistas o congresos.
CI_02	Estudios publicados a partir de 2012.
CI_03	Estudios cuyo título tenga relación con el tema de investigación
CI_04	Estudios en inglés y español.

2.2.1.1.7. Criterios de exclusión

Los criterios de exclusión, descritos en la Tabla 4, ayudan a descartar los trabajos que no tengan relevancia para el objetivo planteado.

Tabla 4
Criterios de exclusión

ID	Criterios de exclusión
CE_01	Trabajos sin una metodología científica.
CE_02	Trabajos duplicados.
CE_03	Trabajos no relacionados con la pregunta de investigación.
CE_04	Trabajos que no cumplen los criterios de inclusión.

2.2.1.2. Ejecución de la Revisión Sistemática de Literatura

A continuación, se describe el proceso de ejecución de las cadenas de búsqueda, los criterios de inclusión y exclusión en las bases de datos seleccionadas.

2.2.1.2.1 Ejecución en la base de datos SCIENTIFIC.NET

La ejecución de la cadena de búsqueda en SCIENTIFIC.NET arrojó 203 resultados. Tras aplicar los criterios de inclusión, la cifra se redujo a 6, de los cuales, tras aplicar los criterios de exclusión, se consideran los descritos en la Tabla 5.

Tabla 5
Estudios primarios de SCIENTIFIC.NET

#	Cita	Título y Publicación
1	(Jiao et al., 2015)	The Traffic Flow Model Of Intelligent Transportation System. 2015 Applied Mechanics and Materials
2	(D. W. Li & Wang, 2012)	A traffic-flow-phase adaptive routing algorithm for VANETs. 2013 Applied Mechanics and Materials

3	(Zhang & Song, 2012)	Real-time Monitoring Unit of Traffic Flow. 2012 Applied Mechanics and Materials
4	(Cao et al., 2014)	Research on Traffic Flow Velocity Characteristic at Temporary Reversible Lane. 2012 Applied Mechanics and Materials.
5	(Corriere et al., 2012)	Environmental Implications of Traffic Flow Delays: a Model for Urban Streets. 2013 Applied Mechanics and Materials.

2.2.1.2.2. Ejecución en la base de datos IEEEEXPLORER

La ejecución de la cadena de búsqueda en IEEEEXPLORER arrojó 64 resultados. Tras aplicar los criterios de inclusión, la cifra se redujo a 8, de los cuales, tras aplicar los criterios de exclusión, se consideran los descritos en la Tabla 6.

Tabla 6
Estudios primarios
de IEEEEXPLORER

#	Cita	Título y Publicación
1	(Nafi et al., 2012)	Traffic Flow Model for Vehicular Network. 2012 International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE 2012)
2	(Pan et al., 2013)	Proactive Vehicular Traffic Rerouting for Lower Travel Time. 2013 IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY.
3	(M. Li et al., 2017)	An Improved GPSR Protocol Based on Stratification of Traffic Density. 2017 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA).

2.2.1.2.3. Ejecución en el motor de búsqueda científico Google Scholar

La ejecución de la cadena de búsqueda en Google Scholar arrojó 3040 resultados. Tras aplicar los criterios de inclusión, la cifra se redujo a 797, de los cuales, tras aplicar los criterios de exclusión, se consideran los descritos en la Tabla 7.

Tabla 7
Estudios primarios
de Google Scholar

#	Cita	Título y Publicación
1	(Kerner, 2015)	Failure of classical traffic flow theories: a critical review. 2015 Springer Verlag Wien.
2	(Kong et al., 2016)	Urban traffic congestion estimation and prediction based on floating car trajectory data. 2016 Future Generation Computer System.
3	(Jin & Zhang, 2013)	An instantaneous kinematic wave theory of diverging traffic. 2013 Transportation Research Part B.

4	(Qian et al., 2017)	A cellular automata traffic flow model for three-phase theory. 2017 Physica A.
5	(L. Li & Chen, 2017)	Vehicle headway modeling and its inferences in macroscopic/ microscopic traffic flow theory: A survey. 2017 Transportation Research Part C.
6	(Jin, 2016)	On the equivalence between continuum and car-following models of traffic flow. 2016 Transportation Research Part B.
7	(GUAN et al., 2012)	Review on Traffic Flow Phenomena and Theory. 2012 JOURNAL OF TRANSPORTATION SYSTEMS ENGINEERING AND INFORMATION TECHNOLOGY.

2.2.1.2.4. Criterio de selección de estudios

Con la finalidad de dar cumplimiento al objetivo de la revisión, los resultados deben cumplir con el siguiente criterio: los trabajos deben describir la intervención de propiedades cuantitativas de flujo vehicular.

2.2.1.2.5. Extracción de datos

La extracción de datos importantes de cada artículo seleccionado se basa en el siguiente elemento: *Propiedades cuantitativas del flujo vehicular*.

2.2.2. Desarrollo del sistema

El proyecto empleó a Mobile-D como metodología de desarrollo. Mobile-D se basa en otras soluciones conocidas y consolidadas: eXtreme Programming (XP), Crystal y Rational Unified Process (RUP). De XP toma las prácticas de desarrollo; por su parte, Crystal le proporciona una entrada valiosa en términos de escalabilidad de los métodos, y RUP se emplea como base para el diseño del ciclo de vida (Blanco, Camarero, Fumero, Werterski, Adam, & Rodríguez, 2013).

El ciclo de vida está formado por cinco fases: exploración, inicialización, "productización", estabilización y pruebas del sistema. La fase de exploración se enfoca en la planificación inicial, establecer un plan de proyecto y los conceptos básicos.

El proyecto fue impulsado por la Unidad Municipal de Tránsito, Transporte Terrestre y Seguridad Vial (UMTTTSV) de la ciudad de Loja. Para dar cumplimiento a esta fase se realizaron las reuniones correspondientes en las que se establecieron los elementos necesarios para continuar el proceso.

En la fase de inicialización se identifican y preparan los recursos necesarios, como el entorno técnico o el entrenamiento al equipo de desarrollo, entre otros. Además, en esta etapa se centran esfuerzos en la definición de la línea arquitectónica. Al igual que la etapa anterior, se llevaron a cabo los acercamientos necesarios con la UMTTTSV.

En la fase de "productización" se realizó la creación de todo el código necesario. Se escribió código correspondiente a la API, la aplicación web y la aplicación móvil. De igual forma, se trabajó conjuntamente con la UMTTTSV para determinar el cumplimiento de todos los requisitos del sistema.

En la fase de estabilización se emplearon acciones para integrar el código. Comprobar el correcto funcionamiento en conjunto de los 3 subsistemas. Además, se realizaron las tareas de documentación. En la etapa final, de pruebas del sistema, se describió un plan de pruebas y se ejecutó en conjunto con la UMTTTSV. Se corrigieron y afinaron detalles referentes a la usabilidad. Con esto se obtuvo una versión estable y completamente funcional del sistema.

3. Resultados

3.1. Análisis de resultados y hallazgos de la SLR

En esta etapa del proceso se muestran los trabajos cuya información aporta a la resolución de la pregunta planteada. De todos los trabajos consultados, y tras la evaluación de cada estudio, a continuación, se muestran los artículos más importantes.

Se presentan 15 artículos con las etiquetas desde A1 a A15, estudios seleccionados de acuerdo con los criterios planteados.

Tabla 8
Estudios seleccionados de la
Revisión Sistemática de Literatura

Título	Propiedades cuantitativas del flujo vehicular
A1. The Traffic Flow Model Of Intelligent Transportation System	Flujo de tránsito
A2. A traffic-flow-phase adaptive routing algorithm for VANETs.	Densidad
A3. Real-time Monitoring Unit of Traffic Flow	Volumen/Flujo de tránsito Velocidad promedio.
A4. Research on Traffic Flow Velocity Characteristic at Temporary Reversible Lane.	Velocidad Densidad
A5. Environmental Implications of Traffic Flow Delays: a Model for Urban Streets.	Velocidad promedio
A6. Traffic Flow Model for Vehicular Network	Flujo de tránsito Densidad Velocidad
A7. Proactive Vehicular Traffic Rerouting for Lower Travel Time	Flujo de tránsito Densidad Velocidad
A8. An Improved GPSR Protocol Based on Stratification of Traffic Density	Densidad
A9. Failure of classical traffic flow theories: a critical review	Flujo de tránsito Densidad Velocidad
A10. Urban traffic congestion estimation and prediction based on floating car trajectory data.	Flujo de tránsito Velocidad promedio Densidad
A11. An instantaneous kinematic wave theory of diverging traffic	Flujo de tránsito. Velocidad. Densidad.
A12. A cellular automata traffic flow model for three-phase	Flujo de tránsito.

theory	Densidad.
A13. Vehicle headway modeling and its inferences in macroscopic/ microscopic traffic flow theory: A survey.	Velocidad. Densidad. Flujo de tránsito.
A14. On the equivalence between continuum and car-following models of traffic flow	Velocidad. Densidad. Flujo de tránsito.
A15. Review on Traffic Flow Phenomena and Theory.	Densidad. Flujo de tránsito.

3.2. Resultados del desarrollo del sistema

La puesta en práctica del ciclo de vida de Mobile-D permitió desarrollar Fluxlane, un sistema que permite la recolección de datos de flujo vehicular. El cual se encuentra compuesto por tres aplicaciones: una Api REST; una aplicación móvil nativa; y, una aplicación web.

La interacción de los tres subsistemas permite generar información relevante que ayude en la toma de decisiones de regulación de tránsito o como fuente para proyectos de gestión urbana. La Api REST posibilita que la información recolectada sea accesible y consumible desde cualquier otro sistema. Además, permite la comunicación entre la aplicación web y la aplicación móvil. La aplicación web está destinada a usuarios con un rol administrador. El objetivo es ofrecer un sistema completo para la gestión de rutas y usuarios. La aplicación móvil realiza la función de recolector de información, es decir, una vez creada la ruta, desde la aplicación web, la aplicación móvil será la que se emplee para obtener datos durante el recorrido del vehículo flotante. Una vez finalizado el recorrido, se encarga de enviar los datos a la API, para su posterior gestión.

Para el manejo de la gran cantidad de datos que genera el sistema, se emplea Mongo DB, un sistema que permite un esquema de datos flexible. Tras la revisión de literatura, y tomando en cuenta la finalidad del sistema, se generan dos tipos de esquemas de datos: uno para la ruta y otro para los subpuntos. El esquema ruta permite almacenar información relevante a la sección de vía o carril a estudiar. Mientras que el esquema subpunto facilita el manejo de cada uno de los datos que se recolectan durante el recorrido.

El sistema fue puesto a prueba en diversas situaciones reales de congestionamiento vehicular bajo la supervisión de la UMTTTSV de la ciudad de Loja. En conjunto, se planificó el estudio de 12 vías urbanas en horarios relevantes. Se escogió un vehículo cuyas características eran similares a los que circulan habitualmente por dichas vías. De igual forma, se eligieron dos conductores experimentados. A través de la aplicación web se crearon 24 rutas, asignándose 12 a cada conductor. El propósito era comparar los resultados obtenidos en condiciones similares, pero con distinto conductor, para mitigar posibles alteraciones por el estilo de conducción de cada individuo. En cada toma de muestras, de forma paralela al sistema, se documentó los tiempos de duración de viaje, retrasos, puntos de congestión, velocidad mínima, velocidad máxima, entre otros. Con la finalidad de comparar los resultados generados por el sistema con los obtenidos de forma manual por el investigador.

4. Conclusiones

La determinación matemática del flujo vehicular en una vía o sistema vial requiere de la medición de tres variables fundamentales: volumen, densidad y velocidad promedio. Para la medición de estas variables se precisa de: un equipo de personas capacitadas; un vehículo o vehículos, dependiendo de la extensión del sistema vial; y, de equipos de medición. Dependiendo del grado de exactitud que se busque en los datos se pueden emplear equipos de geo-referenciación con mayor o menor grado de precisión. El estudio completo, que incluya las tres variables, requiere de una inversión, en personal, equipos y logística, elevada.

La automatización de la medición de la variable de estudio, del flujo vehicular, del presente trabajo, velocidad promedio, permite la reducción de costos en concepto de equipos de medición y

personal capacitado, mas no en vehículos. El conocimiento de esta variable contribuye a determinar la calidad de servicio de tráfico proporcionado al conductor.

El enfoque híbrido/heterogéneo/modular del sistema Fluxlane permite que cualquiera de sus componentes (API, sistema web, aplicación móvil) pueda ser sustituido por una solución que se adapte al caso de estudio. De ser necesario un dispositivo de geo-referenciación de alta precisión para recolección de datos, el enfoque del proyecto, facilita la comunicación entre el sistema y el nuevo el equipo de medición.

El empleo de una base de datos no relacional, adaptada al tipo de dato y con un esquema de datos flexible, permite la agregación de nuevas características a cualquiera de los esquemas presentes en la base de datos. Esto es, posibilita la adición de nuevos elementos al esquema ruta, subpunto, cliente o usuario, sin perjuicio de los datos ya almacenados, favoreciendo la escalabilidad del sistema Fluxlane.

La metodología escogida para el desarrollo se basó en las necesidades del cliente y las características del proyecto. Mobile-D proporciona un ciclo de vida completo para el desarrollo de sistemas móviles. A pesar de que el sistema está compuesto por tres aplicativos, cuyo desarrollo conlleva el uso de distintos lenguajes de programación, así como de distintos patrones de codificación, la metodología ofrece un marco de trabajo ágil que se puede emplear en la construcción de cada uno, sin dependencia de tecnologías o técnicas de desarrollo propias de cada plataforma.

La recolección de muestras con el sistema Fluxlane permitió evidenciar, con datos reales, las situaciones de congestión vehicular que se producen en la zona urbana de la ciudad, en determinados horarios.

Referencias bibliográficas

Alpizar Arteaga, E., & del Risco Sánchez, A. (2012). Diseño de un Sensor de Flujo Vehicular basado en Lazo Inductivo. *RIELAC. Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 33, 33-44. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/eac/v33n1/eac04112.pdf>

Álvarez, J. (s. f.). *Modelado de tránsito y optimización del flujo vehicular en paralelo*. Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de <http://148.204.63.111/SABERv3/Repositorios/webVerArchivo/25826>

Álvarez, P., & Hadi, M. A. (2014). *Evaluating the effectiveness of signal timing optimization based on microscopic simulation*. *Obras y Proyectos* (Vol. 16). Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/oyp/n16/art06.pdf>

Andres Felipe Granados, Jorge Ivan Marin H., & L. (2007). Detección De Flujo Vehicular Basado En Visión Artificial. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, XIII(35), 163-168. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/849/84903530.pdf>

Bernal, S. A., San Nicolas, R., Myers, R. J., Mejía De Gutiérrez, R., Puertas, F., Van Deventer, J. S. J., & Provis, J. L. (2014). Analysis of vehicular traffic flow using a macroscopic model. *Cement and Concrete Research*, 57(184), 33-43. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2013.12.003>

Blanco, P., Camarero, J., Fumero, A., Werterski, Adam, & Rodríguez, P. (2013). Metodología de desarrollo ágil para sistemas móviles Introducción al desarrollo con Android y el iPhone. *Revista de Tecnología | Journal Technology*, 12 número(4), 181-183. <https://doi.org/10.1145/2048237.2157457>

Braess, D., Nagurney, A., & Wakolbinger, T. (2005). On a Paradox of Traffic Planning. *Transportation Science*, 39(4), 446-450. <https://doi.org/10.1287/trsc.1050.0127>

Bull, A. (2013). *Congestión de Tránsito el problema y como enfrentarlo*. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Cao, Y., Zuo, Z. Y., & Xu, H. Z. (2014). Research on Traffic Flow Velocity Characteristic at Temporary Reversible Lane. *Applied Mechanics and Materials*, 505-506, 1189-1193. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.505-506.1189>

Castán, J., Ibarra, S., Laria, J., Guzmán, J., & Castán, E. (2014). Control de tráfico basado en agentes inteligentes, 61-68. <https://doi.org/10.1353/ajm.1996.0020>

Cohn, N., & Bischoff, H. (2012). *Floating car data for transportation planning*. *North American Travel Monitoring Exposition and Conference (NAMTEC)*. Recuperado de <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/conferences/2012/NATMEC/Cohn.pdf>

- Corriere, F., Peri, G., La Rocca, V., & Rizzo, G. (2012). Environmental Implications of Traffic Flow Delays: A Model for Urban Streets. *Applied Mechanics and Materials*, 260-261, 1167-1172. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.260-261.1167>
- De Jesús, A., & Mejía, V. (2016). *Comparación de un Enfoque Macroscópico y otro Microscópico al Estimar las Demoras por la Congestión Urbana*. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/51870/8/472922.2016.pdf>
- Gibson, J. (2001). Teoría de Flujos Vehiculares, 108.
- González Garrido, M. (1999). Estudio De Velocidades. Recuperado de http://www.carreteros.org/planificacion/1999/1999_10.pdf
- GUAN, W., HE, S., & MA, J. (2012). Review on Traffic Flow Phenomena and Theory. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 12(3), 90-97. [https://doi.org/10.1016/s1570-6672\(11\)60205-5](https://doi.org/10.1016/s1570-6672(11)60205-5)
- Herrera, N., Luján, S., & Gómez, E. (2018). Integración de herramientas para la toma de decisiones en la congestión vehicular. *DYNA*, 85(205), 363-370. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n205.67745>
- Hu, X., An, S., & Wang, J. (2018). Taxi Driver's Operation Behavior and Passengers' Demand Analysis Based on GPS Data. *Journal of Advanced Transportation*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/6197549>
- Huber, W., Lädke, M., & Ogger, R. (s. f.). *EXTENDED FLOATING-CAR DATA FOR THE ACQUISITION OF TRAFFIC INFORMATION*. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/5ac8/610cdf82017c4fc0f480c04c931cc95dbd0.pdf>
- Hugh, Y., & Freedman, R. (2009). Física Universitaria. Volumen 1. *Pearson Educación*, 760. https://doi.org/10.1057/9781137311955_5
- INEC. (s. f.). ECV - INEC 2013-2014. Recuperado 27 de agosto de 2017, de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/ECV/ECV_2015/
- INEC. (2010). Censo 2010 - Población y Vivienda - Una Historia para ver y sentir. *Inec*. Recuperado de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Libros/Memorias/memorias_censo_2010.pdf
- INEC. (2014). Anuario de Estadísticas de Transportes 2014. *Anual*, 1-198. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- INEC. (2016). Anuario de estadísticas de transporte 2016. Recuperado 7 de noviembre de 2017, de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica_de_Transporte/2016/2016_AnuarioTransportes_Principales_Resultados.pdf
- Jiao, H. Y., Liang, F. C., & Rao, Y. (2015). The Traffic Flow Model of Intelligent Transportation System. *Applied Mechanics and Materials*, 713-715, 2000-2003. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.713-715.2000>
- Jin, W. L. (2016). On the equivalence between continuum and car-following models of traffic flow. *Transportation Research Part B: Methodological*, 93, 543-559. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2016.08.007>
- Jin, W. L., & Zhang, H. M. (2013). An instantaneous kinematic wave theory of diverging traffic. *Transportation Research Part B: Methodological*, 48, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2012.12.001>
- Kerner, B. S. (2015). Failure of classical traffic flow theories: a critical review Das Versagen klassischer Verkehrsfluss-Theorien: Eine kritische Betrachtung. *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, 132(7), 417-433. <https://doi.org/10.1007/s00502-015-0340-3>
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for Performing Systematic Reviews. *Keele UK Keele University (2004)*, 33(TR/SE-0401), 1-28. <https://doi.org/10.1.1.122.3308>
- Kong, X., Xu, Z., Shen, G., Wang, J., Yang, Q., & Zhang, B. (2016). Urban traffic congestion estimation and prediction based on floating car trajectory data. *Future Generation Computer Systems*, 61, 97-107. <https://doi.org/10.1016/j.future.2015.11.013>
- Li, D. W., & Wang, P. (2012). A Traffic-Flow-Phase Adaptive Routing Algorithm for VANETs. *Applied Mechanics and Materials*, 241-244, 2343-2349. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.241-244.2343>
- Li, L., & Chen, X. (Michael). (2017). Vehicle headway modeling and its inferences in macroscopic/microscopic traffic flow theory: A survey. *Transportation Research Part C: Emerging*

Technologies, 76, 170-188. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.01.007>

Li, M., Li, H., Lv, H., Kong, X., Feng, B., Nong, T., ... Liu, J. (2017). An improved GPSR protocol based on stratification of traffic density. *2017 IEEE International Conference on Information and Automation, ICIA 2017*, (July), 1162-1167. <https://doi.org/10.1109/ICInfA.2017.8079077>

Li, X., Wu, Y., Tan, Y., Cheng, P., Wu, J., & Wang, Y. (2018). Method Based on Floating Car Data and Gradient-Boosted Decision Tree Classification for the Detection of Auxiliary Through Lanes at Intersections. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(8), 317. <https://doi.org/10.3390/ijgi7080317>

Marler, N., & Montgomery, F. (1993). Urban Road Traffic Surveys. *OVERSEAS ROAD ...*. Recuperado de <https://trl.co.uk/sites/default/files/ORN11.pdf>

Mozo Sánchez, J. (2012). Capítulo: Teoría de flujo vehicular. En *Análisis de capacidad y nivel de servicio de segmentos básicos de autopistas, segmentos trenzados y rampas de acuerdo al Manual de Capacidad de Carreteras HCM2000 aplicando MathCad* (pp. 10-29). Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/417/A4.pdf?sequence=4>

Nafi, N. S., Hasan, M. K., & Abdallah, A. H. (2012). Traffic flow model for vehicular network. *2012 International Conference on Computer and Communication Engineering, ICCCE 2012*, (July), 738-743. <https://doi.org/10.1109/ICCCE.2012.6271315>

Pan, J., Popa, I. S., Zeitouni, K., & Borcea, C. (2013). Proactive vehicular traffic rerouting for lower travel time. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 62(8), 3551-3568. <https://doi.org/10.1109/TVT.2013.2260422>

Qian, Y. S., Feng, X., & Zeng, J. W. (2017). A cellular automata traffic flow model for three-phase theory. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 479, 509-526. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.02.057>

Rapoport, A., Kugler, T., Dugar, S., & Gisches, E. J. (2009). Choice of routes in congested traffic networks: Experimental tests of the Braess Paradox. *Games and Economic Behavior*, 65(2), 538-571. <https://doi.org/10.1016/j.geb.2008.02.007>

Santisteban, J., & Aranzaens, X. L. (2015). GPS assistance taximeter suited to the characteristics of a city. En *CEUR Workshop Proceedings* (Vol. 1538, pp. 40-45). Recuperado de <http://ceur-ws.org/Vol-1538/>

Schäfer, R.-P., Thiessenhusen, K.-U., & Wagner, P. (s. f.). A TRAFFIC INFORMATION SYSTEM BY MEANS OF REAL-TIME FLOATING-CAR DATA, (19).

Sevlian, R. (s. f.). Travel Time Estimation Using Floating Car Data. *Elements*, (2), 1-9. Recuperado de <http://cs229.stanford.edu/proj2010/Sevlian-TravelTimeEstimationUsingFloatingCarData.pdf>

Slinn, M., Matthews, P., & Guest, P. (2005). Traffic Engineering Design: Principles and Practice, 241. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-075065865-2/50018-3>

Thomson, I., & Bull, A. (2002). La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales. *REVISTA DE LA CEPAL*, 76(109-121). Recuperado de <http://archivo.cepal.org/pdfs/revistaCepal/Sp/076109121.pdf>

Transportation Research Board. (2000). *Highway capacity manual. Environmental Protection*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000746](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000746).

Vargas, G. T. (2002). Métodos De Asignación De Tránsito En Redes Regionales De Carreteras : Dos Alternativas De Solución, (214). Recuperado de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt214.pdf>

Xiao, Q., He, R., & Ma, C. (2018). The analysis of urban taxi carpooling impact from taxi GPS data. *Archives of Transport*, 47(3), 109-120. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.6514>

Zhang, T., & Song, Z. W. (2012). Real-Time Monitoring Unit of Traffic Flow. *Advanced Materials Research*, 588-589, 1058-1061. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.588-589.1058>

-
1. Docente. Pedagogía de las Ciencias Experimentales. Universidad Nacional de Loja. boris.diaz@unl.edu.ec
 2. Estudiante. Carrera de Ingeniería en Sistemas. Universidad Nacional de Loja. pgsarangou@unl.edu.ec
-

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](#)]

revistaESPACIOS.com



This work is under a Creative Commons Attribution-
NonCommercial 4.0 International License