

Proposal for the Optimization of Urban Public Transport Routes: Case Study - Street Closings at Tuxtla Gutiérrez City

Gandhi Samuel Hernández Chan ¹, Magdiel Omar Mercado Carrillo ²,
Sandra Elizabeth León Sosa ³, Felipe Antonio Román Albores ⁴,
¹gandhi.hernandez@utmetropolitana.edu.mx, ²mamercado@uv.mx,
³lsandra@upemor.edu.mx, ⁴romanalbores@gmail.com

Abstract– The planning of collective urban public transport is increasingly important, and the city of Tuxtla Gutiérrez is no exception. In terms of transportation, some of the main problems faced in this city are street closings, demonstrations, and street maintenance works, where transport routes are already defined from point A to B. For these reasons, alternative solutions are required for user transportation. Therefore, this study aims to present a proposal for the optimization of public transport routes in Tuxtla Gutiérrez, where commuting times and costs are reduced even when facing any of the abovementioned inconveniences. For these reasons, an algorithm was selected in an attempt to solve routing issues. This algorithm analyzes alternative routes for reaching destinations, allowing users to trace possible routes and select the best route. To achieve this, a distributed architecture is established where transport route data are stored and an analysis can be performed when facing a street closing or a demonstration. The results of this analysis provide the necessary strategies for users to safely reach their destination, benefiting in time and cost. Some of the advantages of executing the system in a distributed environment are the flexibility in terms of connecting several devices, fault tolerance allowing for the storage of large volumes of route information drawn from public transportation, and quick information processing and analysis.

Keywords– Public Transportation, Routes, Optimization, Algorithm, Architecture.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.213>

ISBN: 978-0-9993443-0-9

ISSN: 2414-6390

Propuesta de Optimización de Rutas de Transporte Público Urbano: Caso Práctico Cierre de Calles Ciudad de Tuxtla Gutiérrez

Gandhi Samuel Hernández Chan ¹, Magdiel Omar Mercado Carrillo ²,
Sandra Elizabeth León Sosa ³, Felipe Antonio Román Albores ⁴.
¹gandhi.hernandez@utmetropolitana.edu.mx, ²mamercado@uv.mx,
³lsandra@upemor.edu.mx, ⁴romanalbores@gmail.com

Resumen

La planificación del transporte público urbano colectivo cobra cada vez más importancia, la ciudad de Tuxtla Gutiérrez no es la excepción, para la movilidad del usuario (pasajero) algunos de los problemas principales que se enfrentan es al cierre de calles, manifestaciones y mantenimiento de las mismas, donde las rutas de transporte ya tienen líneas definidas por donde realizan un recorrido de punto A al B y al tener estos inconvenientes es necesario buscar alternativas para ofrecer soluciones. Es por ello que el presente artículo tiene como objetivo realizar una propuesta de optimización de las rutas de transporte público de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, en donde se disminuya tiempo y costo para el traslado del usuario enfrentándose a cualquier problema antes mencionado. Por tal motivo se elige un algoritmo para la solución de problemas de rutas, donde analice las alternativas que tiene para llegar a su destino, permitiendo realizar diseños de las rutas que permita elegir la más óptima geográficamente, para lograrlo se establece una arquitectura distribuida en donde se almacene los datos de las rutas de transporte y se pueda realizar un análisis al momento de encontrarse con una calle cerrada o en manifestación que otorgue las estrategias necesarias para conducir al transporte a su lugar de destino, beneficiando en el tiempo y el costo, una de las ventajas de realizar el sistema en un ambiente distribuido es la flexibilidad con respecto al conectar varios dispositivos, tolerante a fallos que permita almacenar grandes volúmenes de información de las rutas trazadas del transporte público, así mismo permitirá procesar y analizar de forma rápida la información.

Palabras claves. *Transporte público, rutas, optimización, algoritmo, arquitectura.*

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente el problema del transporte público en una ciudad se encuentra ligado a diferentes factores como son: el tránsito y el parque vehicular, el crecimiento de la ciudad, el número de habitantes, la orografía y ubicación territorial y además el tipo de comercio o economía que se desarrolla en el municipio, por lo que el sistema de transporte debe funcionar adecuadamente y adaptarse a la movilidad y a las necesidades de los usuarios. Según los datos del INEGI del 2015 el municipio de Tuxtla Gutiérrez cuenta con 598,710 habitantes [1]. Se estima que en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez al año

2011 circulan 190,446 unidades de vehículos ligeros, de las cuales, el 55% corresponde a automóviles compactos y subcompactos, 28% SUV y VAN, 15% pick up y 2% camiones de transporte público y carga. El 77% de este parque vehicular tiene una antigüedad de 9 años y menos, mientras que el restante 23% tiene 10 años o más [2]. Además, el Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica del estado de Chiapas (CEIEG) indica que el municipio de Tuxtla Gutiérrez tiene una extensión territorial de 334.61 kilómetros cuadrados, con una densidad de 1789.27 habitantes por kilómetro cuadrado [3]. Los datos mostrados por el INEGI sobre Vehículos de motor registrados en circulación indican que en el año 2014 el estado de Chiapas contaba con 736,909 vehículos, y para el siguiente año 767,497, lo que representa un aumento del 4.15%, porcentaje de crecimiento que se ha mantenido constante desde el año 2000 [4]. Con los datos anteriores se puede observar que 1 de cada 3 habitantes cuenta con algún tipo de vehículo para transportarse, además el 2% de las unidades significa que actualmente circulan casi de 4000 unidades de transporte público y carga. El hecho de ser la capital del estado hace que el municipio tenga una mayor de concentración de población y que el tráfico vehicular sea intenso. Este crecimiento en el parque vehicular y en la población ha llevado a que uno de los principales problemas sociales sea el congestionamiento de las rutas del transporte público en las horas pico, esto es causado por diferentes situaciones como manifestaciones, mantenimiento y pavimentación de calles, accidentes viales, y hasta factores como la salida de los estudiantes de escuelas por mencionar alguna.

Miranda Borraz [5] comenta que los usuarios buscan tener mejores condiciones para su traslado en el transporte público y que las unidades circulen con mayor rapidez. Anotó que en gran parte de la ciudad se encuentra las paradas muy saturadas para el ascenso y descenso de los usuarios, como en el caso de las dos principales entradas de la ciudad donde están muy saturadas por el ingreso del transporte público foráneo. Un transporte público que muestra características como seguridad, eficacia y comodidad hace más atractivo su uso para el

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.213>
ISBN: 978-0-9993443-0-9
ISSN: 2414-6390

15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Global Partnerships for Development and Engineering Education”, 19-21 July 2017, Boca Raton FL, United States.

usuario. Mientras no exista una opción adecuada y eficiente de transporte público, muy pocos usuarios del transporte individual optarán por el transporte público [6].

El objetivo de este documento es desarrollar una solución que determine rutas alternas para resolver problemas de movilidad en el transporte público mediante la aplicación de sistemas distribuidos que utilicen algoritmo evolutivo. Ofreciendo beneficios como: reducción de costos, reducción en el consumo de combustible, mejora en la calidad de servicio, mejora en el tiempo de llegada de un punto A punto B.

Un puntual reporte dio a conocer que más de 306 mil tuxtlecos del área metropolitana utilizan cada día el transporte colectivo, con una derrama económica de más de 3 millones y medio de pesos diarios al sector. En Tuxtla hay 124 rutas de transporte colectivo, aunque operan 113 diariamente, con un parque vehicular de 2 mil 237 combis, las cuales tienen una capacidad máxima para 16 personas cada una. Si se toma en cuenta el número de usuarios diarios en Tuxtla (306 mil 148) por el costo del servicio por viaje (seis pesos) se determina que la derrama económica por el servicio del transporte colectivo es de 1.83 millones de pesos diarios, aunque cabe mencionar que los usuarios regularmente realizan dos viajes, uno de ida y otro de regreso, por lo que las percepciones aumentan al doble, es decir, 3.67 millones de pesos al día, indica la investigación [7]. Ante tal crecimiento es necesario que los usuarios del transporte público cuenten con mecanismos que le proporcionen información de cómo poder trasladarse en la ciudad. Sin embargo, el número de rutas y vehículos del sistema de transporte en el municipio no indican que el sistema sea eficiente y de excelente calidad, como se puede observar en la Figura 1 existen secciones en la ciudad que no cuentan con la disponibilidad del servicio o están lejos de obtenerlo, además que en las calles principales existen una saturación de unidades en ruta.



Figura 1. Mapa en papel de las rutas del transporte colectivo [8].

II. ESTADO DEL ARTE

El problema del asignación de rutas (VRP) es el nombre dado a todas las clases de problemas en donde un conjunto de rutas para una serie de vehículos tienen como origen uno o varios depósitos que se encuentran ubicados geográficamente, y deben atender un número de clientes o ciudades. El objetivo del VRP es minimizar el costo de las rutas, que inician y terminan en un depósito, para un conjunto de clientes con demandas conocidas. El VRP es un problema combinatorio cuyo campo de juego son las fronteras de un grafo $G(V,E)$ [9].

Las técnicas usadas más comúnmente para resolver el VRP, en su mayoría son heurísticas y meta-heurísticas porque no existe ningún algoritmo exacto que pueda garantizar una solución óptima. La meta heurística utiliza una sola colonia de hormigas para minimizar simultáneamente las tres funciones objetivo: el número de vehículos utilizados, la distancia total recorrida y el tiempo total de entrega [10]. La Optimización basada en Colonias de Hormigas (ACO: Ant Colony Optimization), la cual se inspira en el comportamiento que rige a las hormigas de diversas especies para encontrar los caminos más cortos entre las fuentes de comida y el hormiguero. Las hormigas son insectos sociales que viven en colonias y que, debido a su colaboración mutua, son capaces de mostrar comportamientos complejos y realizar tareas difíciles desde el punto de vista de una hormiga individual. Un aspecto interesante del comportamiento de muchas especies de hormigas es su habilidad para encontrar los caminos más cortos entre su hormiguero y las fuentes de alimento. Este hecho es especialmente interesante si se tiene en cuenta que muchas de las especies de hormigas son casi ciegas, y no existe la posibilidad de utilizar pistas visuales. Cuanto más fuerte es el rastro de feromona, mayor es la probabilidad de elegirlo. Este proceso hace que la probabilidad de que una hormiga escoja el camino más corto aumente progresivamente [11].

En el desarrollo de la propuesta de solución se utilizará Hadoop, el cual está inspirado en el proyecto de Google File System (Ghemawat) y en el paradigma de programación MapReduce. Hadoop está compuesto de tres piezas fundamentales: Hadoop Distributed File System (HDFS), Hadoop MapReduce y Hadoop Common [12]. El funcionamiento del sistema distribuido de ficheros HDFS (Hadoop Distributed File System), permite el procesamiento de cantidades ingentes de datos en una red o nube de ordenadores conectados. Una instalación de este tipo se compone de un nodo máster (Namenode) y un gran número de nodos de almacenamiento (Datanodes). A diferencia de los sistemas de archivos convencionales, HDFS proporciona una API que expone las ubicaciones de un archivo de bloques. Esto permite aplicaciones como el marco MapReduce para programar una tarea para donde se encuentran los datos, mejorando así el rendimiento de lectura. También permite que una aplicación establezca el factor de replicación de un

archivo. De forma predeterminada, el factor de replicación de un archivo es tres. Para Archivos o archivos a los que se accede con mucha frecuencia, el factor de replicación mejora su tolerancia frente a fallas y Aumentar su ancho de banda de lectura [13]. En la figura 2 se visualiza los nodos de datos de un cliente HDFS creando nuevo archivo dando su ruta de acceso al Nodo. Para cada bloque del archivo, devuelve una lista de nodos para alojar sus réplicas y así el cliente canaliza los datos elegidos.

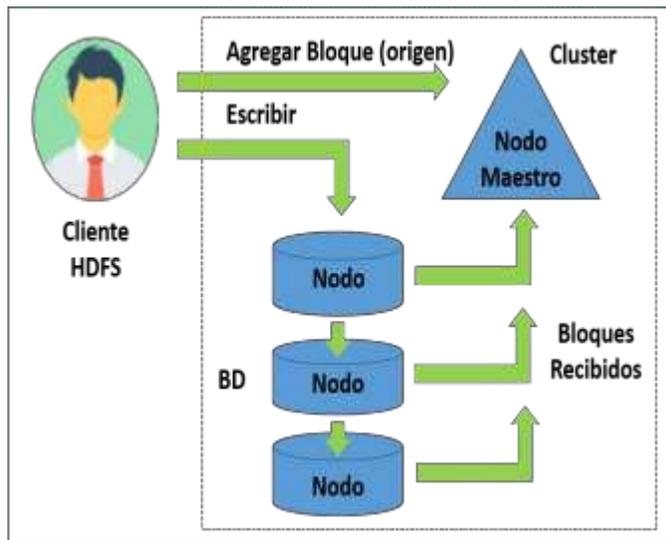


Figura 2. Nodo de datos de HSFS [13]

Es destacable que Hadoop va más allá de una escalabilidad lineal en el procesamiento de los datos atendiendo a la arquitectura distribuida y al número de nodos disponibles, pues influyen diferentes aspectos asociados al tiempo de análisis de cada bloque, como el rendimiento en función de la memoria disponible o la escalabilidad de los algoritmos utilizados en las tareas Map [12]. Con la utilización de la ciencia de los datos sobre grandes volúmenes de datos estructurados y no estructurados se logra producir información y conocimiento. Con este conocimiento es posible dar soluciones inmediatas y efectivas a los problemas detectados mediante el análisis de los datos.

Apache Ambari permite a los administradores del sistema administrar y provisionar el cluster Hadoop, la instalación de servicios de Hadoop a través de múltiples equipos, proporciona la gestión central para iniciar, detener y volver a configurar los servicios de Hadoop en todo el clúster y monitoriza el clúster Hadoop además ofrece un panel de control para vigilancia de la salud y el estado del cluster Hadoop [14].

Implementar técnicas de sistemas distribuidos como BigData, permite a los servicios públicos conocer cambios en los patrones de movimiento, que correctamente interpretados,

permiten dar una respuesta inmediata a los problemas de transporte, tales como reducir los tiempos de viaje y rediseñar rutas para su optimización [15] como en el caso del municipio de Tuxtla.

Entre las experiencias de vanguardia encontramos la Agencia de Transporte de Boston que utiliza la información provista por celulares inteligentes sobre movimientos bruscos para ubicar los baches en las autopistas. En América Latina encontramos que este mismo tipo de aplicación se implementó en Bahía Blanca, Argentina. Estas experiencias están abriendo el camino a una nueva forma de concebir el transporte. Pasando de ser un problema netamente ingenieril y logístico a uno modificado por la existencia de datos masivos, siendo estos datos la huella digital del comportamiento social, reflejo de la cultura [16].

III. METODOLOGÍA.

En la actualidad en cualquier ciudad podemos observar que el transporte público es uno de los medios de movilidad principales para la mayoría de las personas para poder transportarse a cualquier lugar de la ciudad, y el usuario tiene que tomar en cuenta diferentes tipos de factores como el costo y el tiempo de trasladarse de un punto A a otro punto B. Existen ocasiones en las cuales los usuarios no pueden llegar a tiempo al trabajo o alguna actividad que deben de realizar por el cierre de calles y los motivos vienen siendo por mantenimiento, manifestaciones, bloqueos ocasionando que el transporte público tenga que buscar alternativas para poder llegar a su destino y el usuario se ve afectado en el tiempo que estaba establecido que debía llegar, además de tener que tomar otra alternativa para poder llegar a su destino.

La metodología contempla 4 fases las cuales están conformadas como se muestran en la figura 3.



Figura 3. Diagrama de Fases

Fase I. Se realiza una búsqueda de las rutas que se van a utilizar para llevar del punto A al punto B a un usuario en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

Fase II. Se utilizará un framework que permita el procesamiento de información mediante un clúster para el manejo de información.

Fase III. El algoritmo a utilizar es un VRP que será programado en C por la velocidad de procesamiento por la cantidad de información que se va procesar para realizar los cálculos y determinar vías alternas.

Tiene interfaces JDBC/ODBC, por lo que empieza a funcionar su integración con herramientas de BI (Business Intelligence). En el manejo de Datos, Zookeeper es un proyecto de Apache que proporciona una infraestructura centralizada y de servicios que permiten la sincronización del clúster [19]. ZooKeeper mantiene objetos comunes que se necesiten en grandes entornos de clúster.

La capa de servicios, conocida como la lógica del negocio, manejará las peticiones realizadas por los usuarios, para ello se utilizará la tecnología REST con SpringFramework, un modelo de programación y configuración completa de las aplicaciones modernas empresariales basadas en Java en cualquier tipo de plataforma de despliegue con infraestructura de apoyo a nivel de aplicación, con las características de inyección de dependencia, programación orientada a ASPECTOS incluyendo la gestión de transacciones, Spring MVC marco de aplicaciones web y servicios web REST, para que los dispositivos puedan consumir los servicios de la aplicación. Esto permitirá consumir los servicios desde cualquier lenguaje de programación mediante el envío de peticiones y recepción vía JSON. El algoritmo VRP será desarrollado en Lenguaje C para aprovechar por su velocidad de procesamiento al momento de implementarse en otros ambientes.

V. CASO PRÁCTICO

Un ejemplo del caso práctico en el desarrollo de la solución se puede observar cuando una unidad viaja en su ruta programada en día y horario sobre el municipio de Tuxtla Gutiérrez. El autobús se desplaza normalmente por su ruta mientras que la solución es enriquecida por datos estructurados y no estructurados en la plataforma distribuida Hadoop que los mismos usuarios y equipos envían. Mediante el análisis de esta información los usuarios, el conductor o los pasajeros, reciben retroalimentación del comportamiento del tráfico y la ruta que la unidad conduce.

Con base en la información recibida los usuarios pueden prever situaciones de caos vehicular. En caso de que la solución informe sobre el bloqueo de la ruta en una sección del trayecto, el usuario puede tomar las posibles alternativas que la solución ofrece, como pueden ser: rodear el bloqueo con base en el algoritmo de colonias de hormigas o tomar un camino alternativo, propuesto por la solución, antes del bloqueo, inclusive alguno de los pasajeros puede optar por bajarse de la unidad o cambiar su medio de transporte. De esta forma el usuario con anticipación conocerá el comportamiento del tráfico vehicular y optimizará su trayectoria lo mejor apegada a su ruta como se observa en la figura 5.

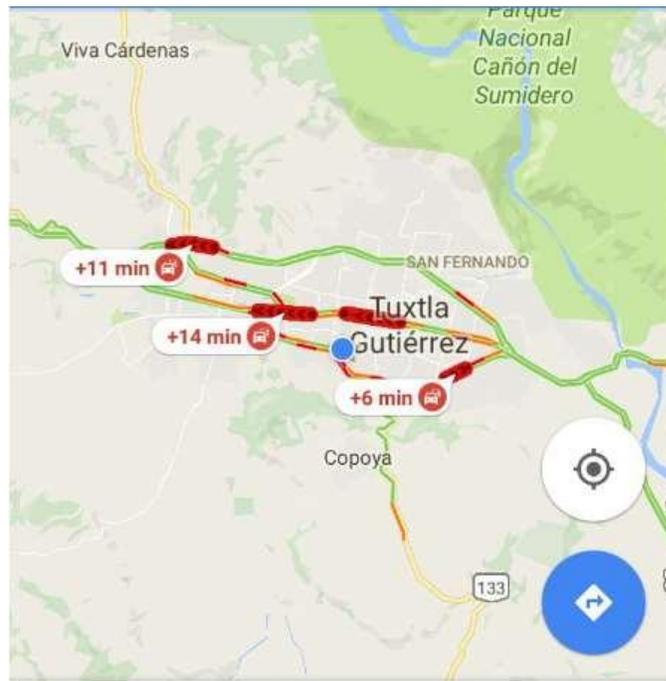


Figura 5. Rutas alternativas

VI. RESULTADOS ESPERADOS

Los resultados de la investigación pueden observarse desde diferentes perspectivas, ya que estos son multidimensionales. El principal beneficiado de la optimización del servicio es el usuario, el ciudadano que paga su transporte y obtiene un servicio de calidad, lo que le permite tener una mejora en su estilo de vida. Otro sector beneficiado son los mismos transportistas (choferes, socios, checadores, cooperativas, líneas, etc.) debido a las altas cantidad de ingresos que se manejan diariamente. El ahorro de tiempo, combustible, disminución de desgastes en refacciones son dimensiones que favorecen lo económico en los propietarios. Impactos de tipo social y económico se pueden observar en la población al mejorar sus actividades, servicio, organización y comercio, lo que permite que el crecimiento del municipio.

VII. TRABAJOS FUTUROS

El tener una arquitectura y aplicación que permita ser consumida por diferentes tecnologías y lenguajes de programación mediante servicios REST, se brindará acceso para compartir la información de las rutas de transporte público urbano. Esto dará como resultado que se desarrollen aplicaciones Móviles, Web o Stand Alone. Dentro de las aplicaciones Móviles se desarrollarán aplicaciones nativas en Android, IOS o Windows Phone usando tecnologías nativas o Frameworks para el desarrollo de aplicaciones multiplataforma como IONIC, PHONEGAP entre otros. Las aplicaciones Web y Standalone consumirán los mismos Servicios REST con

lenguajes de programación que permita consumir Servicios. El tipo de aplicación que se desarrollarían estarían orientadas a la explotación de las rutas para obtener información de calles o eventos ocurridos y que afecten el tiempo de llegada del usuario de la aplicación desde un punto A un punto B. Dentro de los trabajos futuros también se tendría el desarrollo de una API que permita a otros desarrolladores la explotación del sistema.

VIII. CONCLUSIONES

La presente propuesta trae consigo proponer el desarrollo de un sistema distribuido a través de una arquitectura Hadoop de la Apache Software Foundation, que permita almacenar la información de las rutas del transporte público de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, capital del estado de Chiapas en México, para proponer el uso de vías alternas calculadas a través de la arquitectura y el algoritmo VRP, con la finalidad de obtener beneficios para el traslado de un punto de la ciudad y tener diferentes alternativas cuando se enfrenten al cierre de calles, manifestaciones o mantenimiento de las mismas, ahorrando tiempo y costos. Al contar con un sistema distribuido donde se puedan compartir datos de las rutas del transporte público urbano colocando las alternativas para llegar al destino, permitirá el desarrollo de futuras aplicaciones Web y Móviles que permitan a los usuarios explotar la arquitectura que se propone en este documento.

IX. REFERENCIAS

- [1] “Número de habitantes. Chiapas”. [En línea]. Disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/chis/ poblacion/>. [Consultado: 28-ene-2017].
- [2] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Dirección de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional, y Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire (DICA), “ESTUDIO DE EMISIONES Y ACTIVIDAD VEHICULAR EN TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.”, Periférico Sur, No. 5000, Col. Insurgentes/Cuicuilco, Del. Coyoacán, México, D.F. C.P. 04530. Tel. +52 (55) 54246400. Fax. +52 (55) 54245404. www.inecc.gob.mx, 2012.
- [3] Gobierno del Estado de Chiapas, “Tuxtla Gutiérrez Mapa Municipal”, Tuxtla Gutiérrez, p. 1, 2016.
- [4] “Vehículos de motor registrados en circulación”. [En línea]. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/Proyectos/bd/continuas/transporte/vehiculos.asp?s=est&c=13158&proy=vmrc_vehiculos. [Consultado: 28-ene-2017].
- [5] “Transportistas hacen notar a la autoridad, problemas de vialidades en Tuxtla”, Chiapas en Contacto, 09-ene-2015. .
- [6] Luis Adolfo Méndez Lugo, “Vialidad y Transporte”, Columna Digital, 17-ago-2012. .
- [7] “Transporte”. [En línea]. Disponible en: <http://www.cuartopoder.mx/transporte-128817.html>. [Consultado: 28-ene-2017].
- [8] H. G. Crespo, “Mapa del transporte público de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.”, Rev. Tecnol. Digit. Vol, vol. 1, núm. 1, pp. 1–10, 2011.
- [9] E. A. B. Muñoz, “Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte”, El Hombre Máquina, núm. 32, p. 52, 2009.
- [10] Fredy Sánchez Hernández, “Aplicación del modelo VRP (Vehicle Routing Problem) para la optimización de una red de distribución”, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/7969/TESIS.pdf?sequence=1>. [Consultado: 26-ene-2017].
- [11] A. Garcés-Ruiz, M. Granada-Echeverri, y R. A. Gallego-R, “Balance de fases usando colonia de hormigas”, Ingeniería y Competitividad, 2005. [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291323478006>. [Consultado: 21-ene-2017].
- [12] A. H. Dominguez y A. H. Yeja, “Acerca de la aplicación de MapReduce+ Hadoop en el tratamiento de Big Data”, Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=378343683010>. [Consultado: 21-ene-2017].
- [13] K. Shvachko, H. Kuang, S. Radia, y R. Chansler, “The hadoop distributed file system”, en Mass storage systems and technologies (MSST), 2010 IEEE 26th symposium on, 2010, pp. 1–10.
- [14] L. Says, “Apache Ambari: Haciendo fácil el operar con Hadoop”, Un poco de Java, 16-sep-2013. .
- [15] A. Artopoulos, “Big Bang Data en Transporte”.
- [16] A. Artopoulos Viviani, “Desarrollo informacional en América Latina 1980-2014. Casos de pioneros de Buenos Aires”, 2016.
- [17] A. D. Mauttone Vidales, H. Cancela, y M. E. Urquhart, “Diseño y optimización de rutas y frecuencias en el transporte colectivo urbano: modelos y algoritmos”, Rep. Téc. 03-07, 2003.
- [18] “Welcome to Apache™ Hadoop®!” [En línea]. Disponible en: <http://hadoop.apache.org/>. [Consultado: 23-ene-2017].
- [19] “What is Apache Hadoop?”, Hortonworks, 17-may-2016. [En línea]. Disponible en: <http://hortonworks.com/apache/hadoop/>. [Consultado: 23-ene-2017].