

Vehicle Monitoring System: una solución prototipada aplicada en la ciudad de Pasto*

Jesús Insuasti Portilla**

Luis Vicente Chamorro Marcelló***

Cómo citar este artículo / To reference this article / Para citar este artigo: Insuasti, J. y Chamorro, L. (2016). Vehicle Monitoring System: una solución prototipada aplicada en la ciudad de Pasto. *Revista UNIMAR*, 34(2), 241-250.

Fecha de recepción: 14 de junio de 2016

Fecha de revisión: 09 de septiembre de 2016

Fecha de aprobación: 18 de diciembre de 2016

RESUMEN

La propuesta plantea cimentar el sistema de monitoreo y control de movilidad vehicular en tiempo real para la ciudad de Pasto, como punto de partida para un megaproyecto de control de tráfico urbano. En esencia, el sistema propuesto trabaja con tecnología de comunicación híbrida basado en radio/satélite, explotando las capacidades de los sistemas de posicionamiento global, más la última tecnología de desarrollo de aplicaciones orientadas al servicio, Web 2.0 + Data Warehouse/Business Intelligence.

La propuesta de solución computacional es el resultado de la labor de una investigación de paradigma cuantitativo, de enfoque empírico-analítico y de tipo experimental, realizada en el contexto de esta ciudad frente al fenómeno de movilidad en el servicio de transporte público, sistema microbús. La solución permite establecer la principal fuente de información del fenómeno a través del monitoreo en tiempo real a nivel de prototipo en una muestra de buses urbanos pertenecientes al sistema estratégico de transporte de la ciudad.

Palabras clave: buses, celular, rastreo, satélite.

Vehicle Monitoring System: a prototyped solution applied in the city of Pasto

ABSTRACT

The proposal offers to consolidate the system of monitoring and control of vehicular mobility in real time for the city of Pasto, as a starting point for a megaproject of urban traffic control. In essence, the proposed system works with hybrid radio / satellite-based communication technology, exploiting the capabilities of global positioning systems, plus the latest service-oriented application development technology, Web 2.0 + Data Warehouse / Business Intelligence

The proposal of computational solution is the result of the work of a research of quantitative paradigm, of empirical-analytical approach and of experimental type, realized in the context of this city addressing the phenomenon of mobility in the service of public transport, microbus system. The solution allows establishing the main source of information of the phenomenon through the real-time monitoring at prototype level in a sample of urban buses belonging to the strategic transport system of the city.

Key words: buses, cellular, tracking, satellite.

* Artículo Resultado de Investigación.

** Integrante del Departamento de Sistemas, Universidad de Nariño, Ciudadela Universitaria Torobajo, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: insuasty@udenar.edu.co

*** Integrante del Departamento de Sistemas, Universidad de Nariño, Ciudadela Universitaria Torobajo, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: vchamorro@udenar.edu.co

Vehicle Monitoring System: uma solução prototípica aplicada na cidade de Pasto

RESUMO

A proposta apoia a consolidação do sistema de monitoramento e controle da mobilidade veicular em tempo real para a cidade de Pasto, como ponto de partida para um megaprojeto de controle de tráfego urbano. Em essência, o sistema proposto funciona com tecnologia de comunicação híbrida de rádio / satélite, explorando as capacidades dos sistemas de posicionamento global, além da mais recente tecnologia de desenvolvimento de aplicativos orientada a serviços, Web 2.0 + Data Warehouse / Business Intelligence.

A proposta de solução computacional é o resultado do trabalho de uma pesquisa de paradigma quantitativo, de abordagem empírico-analítica e de tipo experimental, realizada no contexto desta cidade abordando o fenômeno da mobilidade ao serviço do transporte público, sistema de micro ônibus. A solução permite estabelecer a principal fonte de informação do fenômeno através do monitoramento em tempo real em nível de protótipo em uma amostra de ônibus urbanos pertencentes ao sistema de transporte estratégico da cidade.

Palavras-chave: autocarros, aparelhos celulares, rastreadores, satélite.

I. Introducción

Los sistemas de posicionamiento global o mejor conocidos como GPS, permiten la ubicación de un objeto en cualquier parte del planeta. Esto brinda oportunidades y posibilidades enormes si de tratamiento de información refiere. En el contexto local, el sistema de transporte requiere una parametrización y cuantificación de sus rutas, con el fin de poder realizar un diagnóstico en tiempos, y además que sean capaces de pronosticar y mejorar el servicio que, actualmente, las compañías de transporte urbano prestan a los usuarios. De esta forma, nace la idea de implementar un sistema prototipado que permita administrar diversos aspectos que son producto de los eventos propios de cada bus, específicamente de la ciudad de Pasto. Esto permitirá obtener datos importantes para la toma de decisiones que incidan en un mejor análisis a la hora de optimizar las rutas.

El proceso de brindar soporte a la toma de decisiones a nivel estratégico ha sido reconocido por Burstein, Brézillon, y Zaslavski (2010) como un tema clave de investigación y, por muchas compañías empresariales como una importante área dentro de la inteligencia de negocios.

Visión general del sistema

El problema objeto de estudio es el fenómeno de movilidad vehicular. Este problema es generado principalmente por la carencia de información relevante sobre el comportamiento de dicho fenómeno, lo que implica que los procesos de toma de decisiones no hayan podido dar solución final a tal situación. La planeación eficiente y eficaz es requerida para enfrentar el problema en la actualidad y su proyección sostenible y escalable a futuro, pero dicha planeación requiere de información previa que otorgue un grado de conocimiento más profundo sobre la naturaleza del fenómeno.

Las causas que originan el problema de movilidad vehicular alrededor del planeta son bastante comunes, el crecimiento desmedido del parque automotor, deficiencias en la infraestructura para soportarlo y la falta de información relevante que permita procesos de planeación eficaz y eficiente.

Por otro lado, los embotellamientos provocan un desorden general en el desarrollo de las actividades cotidianas de los ciudadanos, en realidad se trata de una problemática social como consecuencia de las irregularidades en el flujo normal de los vehículos; las personas llegan tarde a sus destinos,

se incrementa la inseguridad en las vías y crece enormemente los niveles de estrés que son causa de múltiples enfermedades.

Por tal razón, en este artículo se presenta los resultados de la investigación que pretende fundar la base tecnológica, que apunta hacia el estudio del

problema de movilidad vehicular inicialmente en la ciudad de Pasto, aplicado a una muestra de buses de servicio público, a través del monitoreo y control del fenómeno en tiempo real como apoyo significativo a procesos de planeación y toma de decisiones (Figura 1).

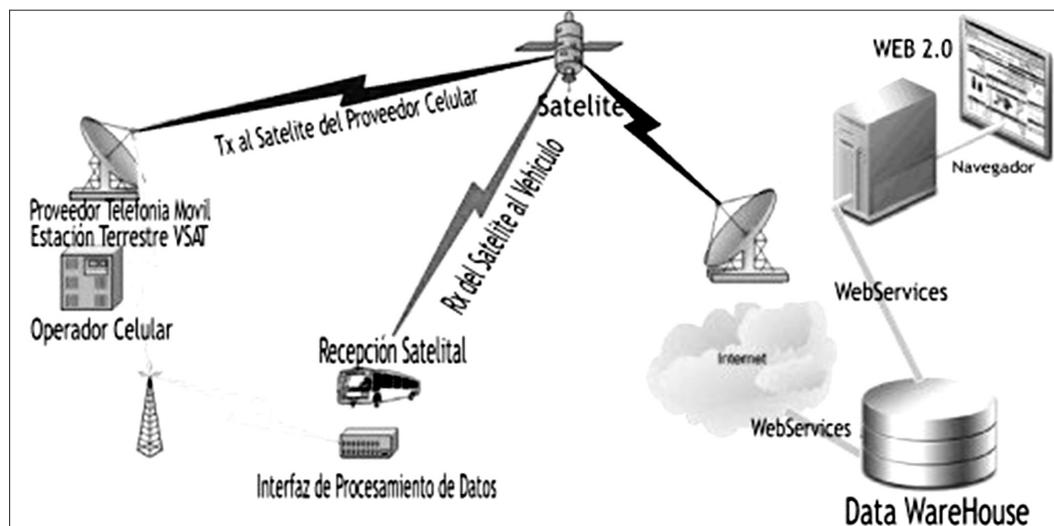


Figura 1. Visión general del sistema.

El sistema funciona a través del uso de dispositivos de comunicación radio/satélite basados en plataforma GSM/GPRS en una muestra de buses urbanos de la ciudad de Pasto que controlarán velocidad y posición (10 buses). Junto al dispositivo de comunicación, se encuentra el sistema para la adquisición y procesamiento de datos (control de pasajeros, consumo de combustible).

El sistema móvil, incrustado en los buses, recibe la señal satelital de geoposicionamiento, la velocidad y además, le permite al sistema electrónico, transmitir la información capturada del bus, usando una red de telefonía celular con cobertura total en la ciudad de Pasto. El proveedor de la red seleccionada de telefonía celular con cobertura en la ciudad de Pasto sirve de puerta de enlace entre el dispositivo móvil y el servidor web de la Universidad de Nariño, a través de técnicas de interoperabilidad proporcionada por las tecnologías de XML Web Services (Newcomer, 2002).

El sistema programado en ambiente Web 2.0 en la Universidad de Nariño realiza el análisis y procesamiento de datos dentro del Data Warehouse

(Shmueli, Patel y Bruce, 2010) y publica la información usando Mashup (Hanson, 2009) para la visualización en tiempo real de los vehículos y sus datos correspondientes (2 segundos como máximo, en el tiempo de respuesta del sistema). A través del tiempo, el Data Warehouse crecerá en volumen de tal forma que sea capaz de realizar proyecciones y cálculos inteligentes frente al comportamiento del tráfico, esto mediante técnica de Business Intelligence (Larson, 2012). La captura de los datos sobre movilidad vehicular y demás variables físicas son efectuadas a través de sensores electrónicos incrustados en los vehículos bajo el control del sistema para su transmisión en tiempo real a través del modem GSM/GPRS (Halonen, Romero y Melero, 2003). Con esto es fácil apoyar la toma de decisiones asociadas a la movilidad vehicular de la ciudad, a cargo de las autoridades correspondientes.

2. Metodología

Partiendo del hecho de tratarse de una investigación con productos tecnológicos entregables, se realizó la siguiente forma de aproximación del estudio. El

paradigma de investigación en el cual se involucró el estudio es cuantitativo, con un enfoque empírico-analítico y un tipo de investigación experimental. Para tal efecto, se realizó un estado del arte frente a soluciones semejantes en el escenario internacional, así como el estudio de experiencias en algunas ciudades del contexto nacional. Desde el punto de vista de la construcción de la solución computacional, la Programación Extrema (eXtreme Programming – XP) fue utilizada dado que tiene como principio mejorar las relaciones interpersonales como clave para el desarrollo de la aplicación, promoviendo el trabajo en equipo y el aprendizaje de los desarrolladores, así como también hacer entregas periódicas de la aplicación funcional. Teniendo en cuenta las fases del proceso XP, el desarrollo tecnológico se llevó a cabo de la siguiente forma:

Fase de exploración

Dentro de esta fase se realizó el análisis de varios de los servicios de mapas en Internet, con el fin de usar el mejor de ellos para el módulo de posicionamiento global de la aplicación. También se determinó el formato con el cual el GPS empaqueta la información recolectada y es enviada a la aplicación. Al final de esta etapa se determinó el estado actual de las aplicaciones, las falencias y las historias de usuario que indiquen las correcciones que se deben aplicar. Igualmente, en esta fase tuvo lugar el análisis de los nuevos requerimientos que soportarán la

nueva herramienta y mejorará la interfaz gráfica de usuario.

Iteraciones

En esta etapa se realizaron iteraciones entre el análisis, el diseño y su implementación. Dentro del análisis y diseño de la nueva herramienta se planificó mediante diagramas UML, la forma en que se desarrolla el software, determinado por los requisitos, producto de esta fase.

Fase de producción

Esta fase tiene que ver con la implementación de la herramienta a través de trabajo de programación. Dentro de estas fases se hace necesaria la documentación de nuevas características que se prevean para su inclusión e implementación posterior, de ser así, hay que regresar a la etapa anterior de análisis y diseño. Paralelamente, a partir de la primera fase de la investigación, o sea la de exploración, se realizó la respectiva documentación mediante UML de todas las actividades realizadas durante el ciclo de vida del desarrollo de la investigación. La investigación está inmersa dentro del paradigma empírico-analítico, de tipo cuantitativo y con enfoque experimental. De acuerdo a lo anterior, la presente investigación integra diseño y desarrollo de componentes hardware y software, por consiguiente, es necesario discriminar las metodologías usadas para cada paso de la investigación, así:

Tabla 1. Descripción metodológica de la solución computacional

Metodología	Recursos
- Revisión documental.	
- Análisis de riesgos.	- GSM/GPRS International standard
- Adaptación del estándar internacional.	
- Simulación digital.	- MATLAB™.
- Montaje de circuitos.	- Tarjeta programadora de Micro controladores.
- Puesta a punto.	- GPRS Modem +
- Recolección de datos a través de sensores, adecuación de señales por medio de hardware y envío de la información vía GSM.	- Interfaces Electrónicas + Sensores.
- Análisis de datos adquiridos.	- Estándares internacionales para empaquetamiento digital de datos.
- Aplicación de algoritmos de cifrado.	

- Modelación UML (Unified Modeling Language) para el data warehouse.	- UML International standard.
- Modelación UML (Unified Modeling Language) para el módulo de Business Intelligence.	- UML International standard.
- Ejecución de Algoritmos preestablecidos de <i>Business Intelligence</i> .	- Reportes sobre descubrimiento de conocimiento acerca del fenómeno a partir de la información recolectada. - Construcción de lineamientos generales para el mejoramiento de la movilidad vehicular.
- Service-Oriented Architecture.	- <i>SOA Specification</i> .
- Web Engineering Process.	- <i>Software Engineering Methods</i> (Roger Pressman).
- Muestreo automatizado.	- Registros de memoria de los datos censados en tiempo real.
- Diseño de Bitácoras de Producto.	- Bitácoras de producto.

Técnicas de recolección y análisis de los datos

Como lo indica la Tabla 1, por tratarse de un sistema de monitoreo en tiempo real de un fenómeno, se hace necesario la toma de un muestreo automatizado de ciertas variables importantes a los intereses del proyecto. En este sentido, el instrumento de recolección de datos es el recurso de que se valen los investigadores para acercarse al fenómeno y extraer información de él. El instrumento trata dos aspectos:

La forma: se refiere a las técnicas que utilizamos para la tarea de aproximación a la realidad, en este caso se trata de nuestro automatizado.

El contenido: queda expresado en la especificación de los datos que se necesitan adquirir. Se concreta en una serie de ítems que no son otra cosa que los indicadores que permiten medir las variables.

La cantidad de información adquirida en tiempo real es supremamente grande y, para ello, fue requerido el uso de contenedores de bases de datos profesionales, para la recolección de información. Inicialmente, se recolectó en registros de memoria electrónica y luego, se trasladó, la información, al servidor central vía web.

A diferencia de otras investigaciones, los datos son recolectados en registros de memoria de las interfaces electrónicas. En el desarrollo de la

investigación se otorgó el formato a manera de tablas. La información sobre tasa de flujo vehicular y volumen del flujo vehicular, así como otras variables complementarias (velocidades, espaciamiento promedio y densidad, intervalos simples, pasajeros, consumo de combustible, emisión de gases, entre otros), fueron adquiridos en tiempo real.

El análisis de los datos recolectados se realizó a través de modelos internacionales de aproximación al fenómeno del tráfico vehicular. Teniendo en cuenta que existen varios modelos, el elegido por los investigadores fue el modelo patentado por el doctor Bruce Douglas Greenshields, denominado Modelo Lineal de análisis de flujo vehicular a través del ajuste por mínimos cuadrados de la relación velocidad/densidad vehicular.

El uso de técnicas de análisis de información en el presente proyecto se realiza con algoritmos de Minería de Datos en la parte de *Business Intelligence* en servidor. Para tal menester, se hace necesario la recuperación de grandes volúmenes de información, lo cual implica realizar una captura de datos cada 3 segundos en movimiento y 1 minuto cuando el vehículo está inactivo durante las 24 horas del día.

Por ende, en la fase de implementación del sistema de información se hace necesario la construcción del *Data Warehouse*.

3. Resultados

Una bodega de datos es una base de datos relacional que está diseñada para la consulta y el análisis para el procesamiento de transacciones. Por lo general, contiene datos históricos derivados de los datos de transacción, pero puede incluir datos de otras fuentes. Separa la carga de trabajo de análisis de la carga de trabajo de transacciones y permite a una organización, la consolidación de datos de varias fuentes. Uno de los propósitos finales del uso de estas técnicas es apoyar la toma de decisiones en forma inteligente.

Además de una base de datos relacional, un entorno de bodega de datos incluye una solución de extracción, transporte, transformación y carga (ETL), un procesamiento analítico en línea (OLAP) del motor, herramientas de análisis de clientes y otras aplicaciones que gestionan el proceso de recopilación de datos y la entrega a los usuarios de negocios.

La *Data Warehouse* (Bodega de Datos) del sistema de monitoreo vehicular en tiempo real es un conjunto de datos integrados u orientados a un propósito, que varían con el tiempo y que no son transitorios, los cuales soportan el proceso de toma de decisiones de la administración y, está orientada al manejo de grandes volúmenes de datos, provenientes del monitoreo vehicular en tiempo real en la ciudad de Pasto.

Estos datos cubren períodos de tiempo de recolección de información de los vehículos, lo que trae consigo que se tengan diferentes esquemas de los datos fuentes. La concentración de esta información está orientada a su análisis para apoyar la toma de decisiones oportunas y fundamentadas, previo a su utilización se debe aplicar procesos de análisis, selección y transferencia de datos seleccionados desde las fuentes.

La capa de inteligencia de negocios sigue el esquema a continuación (Figura 2):

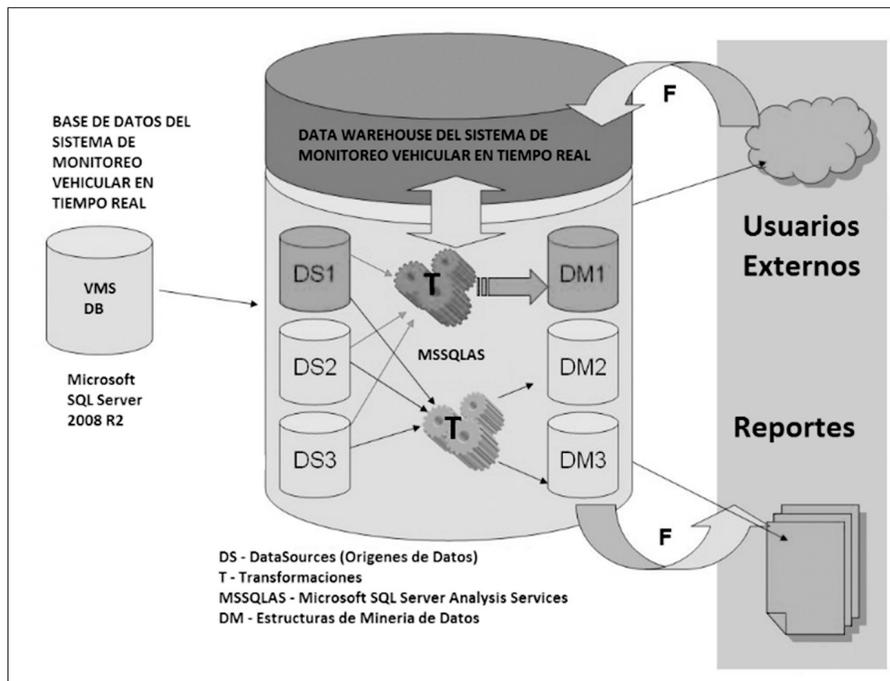


Figura 2. Bodega de datos.

La *Data Warehouse* toma los datos de la base de datos del sistema vehicular en tiempo real y realiza los siguientes procesos:

- a) Limpieza de datos del motor. Esto se realiza a través de una vista de la base de datos que contiene la siguiente estructura (Figura 3).

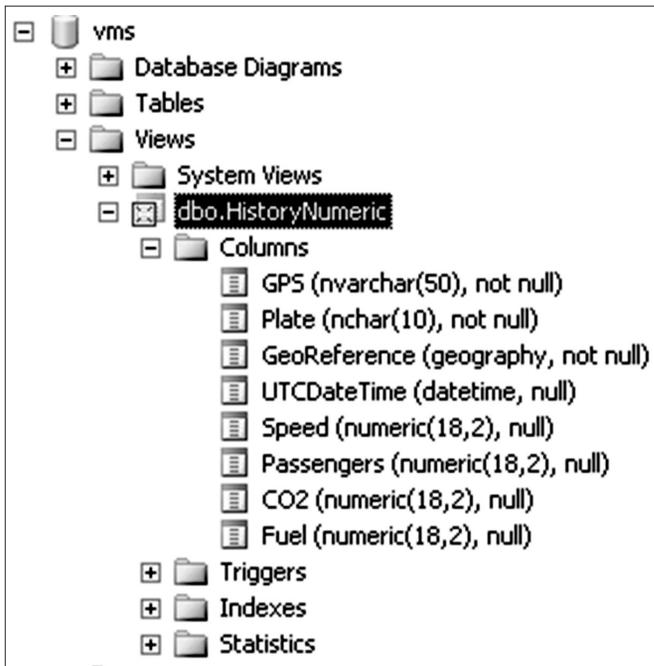


Figura 3. Esquema de la bodega de datos.

b) Una vez limpiados los datos del motor se crea la estructura general del proyecto de inteligencia de negocios (Figura 4).

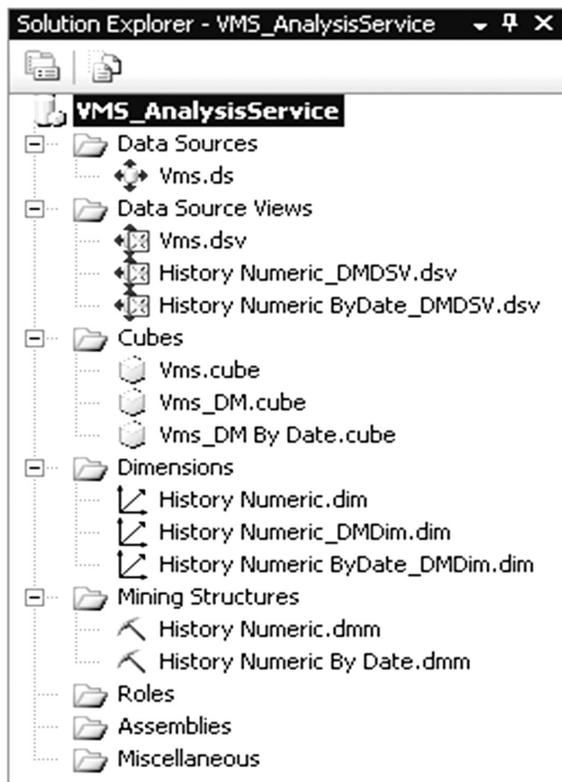


Figura 4. Proyecto de inteligencia de negocio.

c) Construcción de cubos multidimensionales y uso de algoritmos de minería de datos: para tal efecto se utilizaron los algoritmos proporcionados por el complemento de inteligencia de negocios de Microsoft SQL Server.

Al aplicar los algoritmos de minería de datos *Microsoft Time Series* y *Microsoft Association Rules* (Microsoft Corp., s.f.a) se obtuvieron los siguientes resultados:

Al definir las geocercas de la siguiente forma:

Geocerca downtown = POLYGON (“downtown”) con los parámetros de *Google Maps* (Petroutsos, 2004). Se encontró que el promedio de velocidad de los vehículos monitoreados oscilan entre 0.0 y 22.31 km/h entre las 11am y la 1pm.

En cambio la geocerca panamerican_ave = POLYGON (“panamerican_ave”) con los parámetros de *Google Maps*. Se encontró que el promedio de velocidad de los vehículos monitoreados oscilan entre 27.46 y 66.09 km/h entre las 11am y la 1pm.

Por otra parte, el algoritmo *Microsoft Time Series* (Microsoft Corp., s.f.b) obtuvo los siguientes resultados: mostrando las predicciones para noviembre y diciembre del año en el que se realizó la investigación. Haciendo la lectura de la gráfica se obtienen los valores de las dos geocercas downtown y panamerican_ave. Los datos monitoreados de agosto, septiembre y octubre ayudan a soportar los datos predichos para noviembre y diciembre, en cuanto a promedios de velocidad de los vehículos monitoreados.

Los resultados de las velocidades promedio esperadas para los vehículos monitoreados son:

Tabla 2. Proyecciones

	Projected November	Projected December
POLYGON (“downtown”)	12.4 km/h	11.1 km/h
POLYGON (“panamerican_ave”)	61.2 km/h	54.8 km/h

Posterior a esta proyección se realizaron actividades de medición en campo durante los meses en cuestión, obteniendo resultados semejantes en los centros geométricos de las geocercas del sistema,

con un desfase de más o menos 3 kilómetros por hora promedio en hora pico; esta situación corrobora la efectividad de los algoritmos de minería de datos incorporados en el motor de base de datos siguiendo los esquemas de inteligencia de negocios.

El sistema de información vía web mantiene los datos registrados en la etapa de monitoreo, con dicha información ha sido posible recrear las rutas de los buses que forman parte del Sistema Estratégico de Transporte Público, a través de diferentes empresas que se administran bajo la figura de unión temporal. La información que se extrae del sistema, ha permitido evaluar la relación costo-beneficio en algunas rutas, donde se ha tenido la posibilidad de replantear los tiempos de despacho y tránsito.

Por tratarse de una solución prototipada, hace falta fortalecer aún más los módulos de reporte para brindar bases suficientes, con el ánimo de soportar la toma de decisiones; por otro lado, se requiere un monitoreo permanente y constante, teniendo como objetivo el manejo de la bodega de datos gigante para cumplir con los requisitos formales de las técnicas de minería de datos.

Para obtener mejores resultados, usando servicios de análisis de datos soportados en técnicas de búsqueda de conocimiento, se debe tener grandes cantidades de datos. En el periodo de ejecución de la investigación se obtuvieron grandes volúmenes de datos, sin embargo, no se consideran lo suficiente para apoyar la toma de decisiones trascendentales y basadas en modelos de proyección estadística.

4. Discusión

Al ser el problema sobre movilidad a través de sistemas públicos de naturaleza general para el planeta, existen una gran cantidad de estudios, investigaciones y adaptaciones tecnológicas que han contribuido, de alguna manera, a contrarrestar los efectos del caos en la movilidad vehicular. Para comenzar, el problema del transporte ha sido permanente, muchas ideas han sido propuestas y varias medidas han sido implementadas para resolver el problema “eterno” de movilidad en las ciudades. La congestión y el ruido se conocen desde la antigua Roma, y las restricciones del tráfico como las calles de una sola vía y zonas de aparcamiento,

fueron introducidas en la época de Julio César (Van Nijf y Meijer, 2014).

A nivel internacional, existen institutos especializados sobre el problema de movilidad vehicular, transporte y tráfico. En Estados Unidos existe el *Institute of Transportation Engineers* que fue fundado en 1930, es en este país donde la problemática se agudizó exageradamente por la alta producción de vehículos de consumo general. Se crea entonces la carrera profesional sobre la Ingeniería de Transporte para brindar soluciones científicas al problema de tráfico y movilidad vehicular (Clark, 2009).

El matemático Dietrich Braess, autor célebre de la “Paradoja de Braess” afirma que agregando la capacidad extra a una red (cualquiera que sea), cuando las entidades móviles escogen en forma egoísta y aleatoria su ruta, puede reducir, a veces, el desempeño general. Esto es porque el equilibrio de tal sistema no es necesariamente óptimo. Por ende, no es la solución la simple ampliación de la red vial para el mejoramiento de la movilidad vehicular. La demostración matemática existe a través de una investigación donde se demuestra científicamente que la ampliación de la red vial empeora el problema de movilidad vehicular (Hagstrom y Abrams, 2001), investigación realizada en la Universidad de Chicago en el 2001. Frente a estas conclusiones tan determinantes, los investigadores del presente artículo tomaron como escenario de investigación el problema de movilidad a través del sistema de transporte público de la ciudad de Pasto y su fuente de información: el monitoreo en tiempo real de los vehículos de transporte público.

Las soluciones acerca del monitoreo vehicular en tiempo real han sido implementadas desde hace más de una década alrededor del planeta, según los referentes tomados en cuenta en el estado del arte de la investigación. No obstante, sus costos son elevados según la tecnología empleada y el tamaño de las ciudades y su relación con el parque automotor al que pertenece el sistema de transporte público. Ciudades grandes suelen tener sistemas de transporte masivo como el metro, trenes, buses articulados, entre otros. Pero para el caso de las ciudades emergentes, es decir aquellas ciudades en vía de crecimiento y expansión urbanística, el

transporte público se basa en sistemas de microbuses con sus rutas asignadas. Como motivación de los autores surgió mostrar una alternativa con tecnología de bajo costo para dejar evidencia que el monitoreo vehicular en tiempo real de los buses del sistema de transporte público es factible, dadas las condiciones de la ciudad. El prototipo fue pensado a fin de proponer las bases de funcionamiento de un sistema similar a futuro, con la participación de la unión temporal de las empresas que prestan el servicio de transporte público de la ciudad.

Si bien es cierto que los sistemas de monitoreo vehicular son comunes en lugares con alto grado de desarrollo como Norteamérica o Europa, en el contexto de ciudad emergente, los sistemas estratégicos de transporte ven en esta tecnología una gran oportunidad de manejar la información relacionada con el monitoreo de tráfico vehicular. Una de las grandes posibilidades que ha sido reflexionada al interior de la empresa que administra el Sistema Estratégico de Transporte, es la implementación de sistemas de gestión de flota, donde exista la posibilidad de tener un control en tiempo real sobre las situaciones y novedades que acontecen en materia de movilidad de los vehículos monitoreados. En un diálogo entre la empresa administradora del Sistema de Transporte Público de la ciudad y los investigadores, se logró determinar las pautas para la identificación de las necesidades propias de la ciudad.

Cuando fue presentada la solución prototipada a la administración local junto a funcionarios que forman parte del Sistema Estratégico de Transporte Público de la ciudad de Pasto, se recibieron una serie de comentarios positivos sobre el sistema desarrollado, no obstante, hubo una preocupación generalizada sobre los costos para una implementación definitiva, a pesar de ser mucho más económica que otras soluciones que han sido implementadas en diferentes ciudades del país. Por fortuna, desde el punto de vista económico, la solución presentada como resultado de la investigación, demostró que la adquisición masiva de dispositivos de rastreo satelital es asequible por parte de las autoridades gubernamentales. El factor que llamó más la atención fue la necesidad de usar planes de datos para transmitir la información, usando la red de telefonía celular.

Finalmente, desde la perspectiva académica, la solución computacional que fue producto de la labor de investigación, recrea el esfuerzo del conocimiento aplicado a contextos reales. Es justo aquí, donde los investigadores resaltan la esencia del estudio realizado y la importancia de la academia en su función misional de brindar alternativas de solución en su propia comunidad. La experiencia demostró factibilidad en la implementación de la solución diseñada, de acuerdo a las particularidades del contexto local. Sin embargo, muchos factores inciden en la toma de decisiones por parte de las autoridades relacionadas.

5. Conclusiones

El montaje del sistema prototipado híbrido con tecnologías GPS y GSM/GPRS es práctico y de bajo costo, altamente eficiente y responde en tiempo real, cumpliendo las expectativas al momento de la concebir la idea. A manera de prototipo, el sistema promete una amplia gama de aplicaciones adicionales.

El análisis del tráfico vehicular requiere de mucha información a ser analizada mediante minería de datos. No obstante, se requiere obtener grandes volúmenes de información para inferir reglas “fuertes” en cuestión de tráfico vehicular.

La Universidad de Nariño cuenta con la infraestructura necesaria para desplegar y administrar el servicio de monitoreo vehicular por satélite, usando la red de telefonía móvil. Teniendo en cuenta el proveedor del plan de datos de telefonía móvil, el sistema puede implementarse con cobertura nacional.

La tecnología actual permite la implementación de soluciones viables de bajo costo y alto impacto, que mejoren la calidad de vida y protejan el medio ambiente. Los sistemas que hacen uso de microcontroladores presentan un comportamiento muy eficiente, en cuanto al intercambio de información con sistemas híbridos, basados en tecnología GSM/GPRS que interactúan con los sistemas de posicionamiento global, haciendo de los sistemas implementados técnicamente factibles y económicamente asequibles.

Como resultado de la investigación, se ha podido establecer las bases prototipadas para hacer factible el monitoreo en tiempo real de los buses que conforman el Sistema Estratégico de Transporte de la ciudad de Pasto, con esto se pretende orientar a la administración local sobre decisiones del orden tecnológico, que sean necesarias al momento de implementar y desplegar tecnología para tales menesteres.

Finalmente, el sistema prototipado ha demostrado que es fácilmente adaptable a otros escenarios diferentes al Sistema Estratégico de Transporte Público, ya que bastaría con ubicar las unidades de rastreo móviles (*GPS Skypatrol*) en cualquier tipo de vehículo y adaptar algunos elementos de funcionalidad de acuerdo con cada caso que corresponda.

6. Recomendaciones

Utilizar el sistema VMS como apoyo a la toma de decisiones en entidades de control de tránsito, empresas de transporte público urbano e intermunicipal, empresas de vigilancia y empresas aseguradoras, siempre y cuando la bodega de datos crezca en forma apropiada.

La Universidad de Nariño tiene la factibilidad tecnológica y profesional para asumir el liderazgo en proyectos asociados con movilidad en la ciudad de Pasto y en otros lugares del País. Se recomienda a las directivas de la institución, apoyar el crecimiento del prototipo VMS con miras a prestar servicios de monitoreo satelital.

Sería interesante tener el espacio y los recursos para capturar una mayor cantidad de información, quizás de meses o hasta años de información; con ese volumen gigantesco de datos es posible realizar predicciones (*forecasts*) basadas en principios de búsqueda de conocimientos, a partir de técnicas de minería de datos. Desafortunadamente, la cantidad de datos adquiridos, a pesar de ser grande, no es lo suficiente para realizar aproximaciones a la realidad bajo las técnicas mencionadas.

7. Conflicto de intereses

Los autores de este artículo declaran no tener ningún tipo de conflicto de intereses sobre el trabajo presentado.

Referencias

- Burstein, R., Brézillon, P. y Zaslavski, A. (2010). *Supporting Real Time Decision-Making: The Role of Context in Decision Support on the Move: 13 Annals of Information Systems*. Springer, ASIN: B00F5TPUBU.
- Clark, M. (2009). *Transport Modeling for Environmental Engineers and Scientists* (2nd Ed.). Wiley.
- Hagstrom, J. & Abrams, R. (2001). Characterizing Braess's Paradox for Traffic Networks. En: *Proceedings of IEEE 2001 Conference on Intelligent Transportation Systems* (pp. 837-842). Oakland, CA, USA: IEEE Xplore.
- Halonen, T., Romero, J. & Melero, J. (2003). *GSM, GPRS and EDGE Performance: Evolution towards 3G/UMTS* (2nd Ed.) Wiley, ASIN: B008DM5WZK.
- Hanson, J. (2009). *Mashups: Strategies for the Modern Enterprise*, Addison-Wesley Professional, ASIN: B0028MBKHA.
- Larson, B. (2012). *Delivering Business Intelligence with Microsoft SQL Server 2012 3/E* (3rd. Ed.). McGraw-Hill.
- Microsoft Corp. (s.f.a). Microsoft Association Algorithm Technical Reference. Recuperado de <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/cc280428.aspx>.
- _____. (s.f.b) Microsoft Time Series Algorithm Technical Reference. Recuperado de <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb677216.aspx>.
- Newcomer, E. (2002). *Understanding Web Services: XML, WSDL, SOAP, and UDDI* (1st. Ed.). Addison-Wesley Professional.
- Petroustos, E. (2004). *Google Maps: Power Tools for Maximizing the API* (1st. Ed.). McGraw-Hill.
- Shmueli, G., Patel, N. & Bruce, P. (2010). *Data Mining for Business Intelligence: Concepts, Techniques, and Applications in Microsoft Office Excel with XLMiner* (2nd Ed.). Wiley.
- Van Nijf, O. & Meijer, F. (2014). *Trade, Transport and Society in the Ancient World (Routledge Revivals): A Sourcebook*. Routledge.