



## Vehicle monitoring system: una solución prototipada aplicada en la ciudad de pasto

### Vehicle Monitoring System: A Prototyped Solution Applied in the City of Pasto

Jesús Insuasti Portilla<sup>1</sup> Vicente Chamorro Marcillo<sup>2</sup>

**Para citar este artículo:** J. Insuasti y V. Chamorro (2015). Vehicle monitoring system: una solución prototipada aplicada en la ciudad de pasto. *Revista Vínculos*, 12(2), 183-190.

**Recibido:** 23-08-2015 / **Modificado:** 27-08-2015 / **Aprobado:** 10-09-2015

#### 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.

**Palabras clave:** rastreo, buses, satélite, celular.

#### Abstract

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

**Keywords:** tracking, buses, satellite, cellular.

1 MSc in Internet Systems, The University of Liverpool, UK, Liverpool. Universidad de Nariño, Colombia. Correo electrónico: insuasty@udenar.edu.co  
2 MSc en Investigación de Operaciones, Universidad Galileo, Guatemala, Tegucigalpa. Universidad de Nariño, Colombia. Correo electrónico: vchamorro@udenar.edu.co

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de posicionamiento global, 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 se 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 demás 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 muchos autores como un tema clave de investigación y por muchas compañías empresariales como una importante área dentro de la inteligencia de negocios.

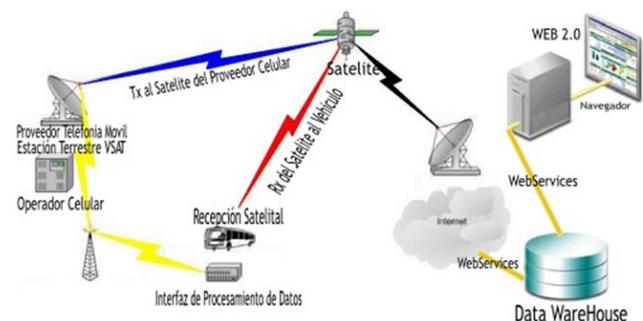
## 2. VISIÓN GENERAL DEL SISTEMA

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, este artículo 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. Para tener una imagen general del funcionamiento del sistema, sus componentes han sido plasmados a través de la figura 1.



**Figura 1.** Visión general del sistema.

**Fuente:** elaboración propia.

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 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 [1].

El sistema programado en ambiente Web 2.0 en la Universidad de Nariño realiza el análisis y procesamiento de datos dentro del Data Warehouse [2] y publica la información usando Mashup [3] para la visualización en tiempo real de los vehículos y sus datos correspondientes (dos 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 [4]. 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 [5]. Con esto es fácil apoyar la toma de decisiones asociadas a la movilidad vehicular de la ciudad a cargo de las autoridades correspondientes.

### 3. METODOLOGÍA

La metodología de desarrollo que más se adecuó a las necesidades de la investigación es la programación extrema (eXtreme Programming-XP), en primer lugar porque esta técnica 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, la investigación se llevó a cabo de la siguiente forma:

#### 3.1 Fase de exploración

Dentro de esta fase se realizó el análisis de varios de los servicios de mapas en la 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 la 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 tendrá lugar el análisis de los nuevos requerimientos que soportará la nueva herramienta y el mejoramiento de la interfaz gráfica de usuario.

#### 3.2 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.

#### 3.3 Fase de producción

Esta fase tiene que ver con la implementación de la herramienta a través de trabajo de programación. Dentro de esta fase 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, tal como lo muestra la tabla 1.

**Tabla 1.** Descripción metodológica de la investigación.

Metodología	Recursos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión documental</li> <li>• Análisis de riesgos</li> <li>• Adaptación del estándar internacional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GSM/GPRS International standard</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulación digital</li> <li>• Montaje de circuitos</li> <li>• Puesta a punto</li> <li>• Recolección de datos a través de sensores, adecuación de señales por medio de hardware y envío de la información vía GSM.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MATLAB™</li> <li>• Tarjeta programadora de micro controladores</li> <li>• GPRS Modem + Interfaces Electrónicas + Sensores</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de datos adquiridos</li> <li>• Aplicación de algoritmos de cifrado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estándares internacionales para empaquetamiento digital de datos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelación UML (Unified Modeling Language) para el data warehouse</li> <li>• Modelación UML para el módulo de Business Intelligence</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UML International standard</li> <li>• UML International standard</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecución de Algoritmos preestablecidos de Business Intelligence</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reportes sobre descubrimiento de conocimiento acerca del fenómeno a partir de la información recolectada</li> <li>• Construcción de lineamientos generales para el mejoramiento de la movilidad vehicular.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Service-Oriented Architecture</li> <li>• Web Engineering Process</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SOA Specification</li> <li>• Software Engineering Methods (Roger Pressman)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestreo automatizado</li> <li>• Diseño de bitácoras de producto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Registros de memoria de los datos censados en tiempo real</li> <li>• Bitácoras de producto</li> </ul>

**Fuente:** elaboración propia.

### 3.4 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 muestro 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*, que se refiere a las técnicas que utilizamos para la tarea de aproximación a la realidad (en este caso se trata de muestro automatizado); y *el contenido*, el cual 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 a 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 recolecta en registros de memoria electrónica y luego se traslada 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 otorga 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 realiza a través de modelos internacionales de aproximación al fenómeno del tráfico vehicular. Teniendo en cuenta que existen varios modelos, el elegido por los investigadores es 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 tres segundos en movimiento y un minuto cuando el vehículo está inactivo durante las 24 horas del día. Obviamente, en la fase de implementación del sistema de información se hace necesario la construcción del Data Warehouse.

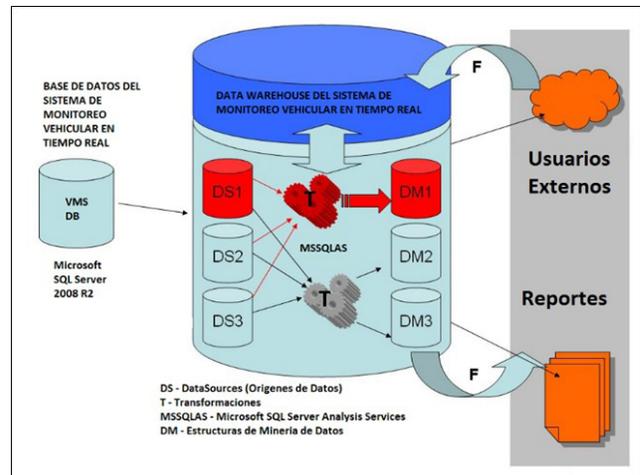
#### 4. CONSTRUCCIÓN DEL DATA WAREHOUSE

Una bodega de datos es una base de datos relacional que está diseñada para la consulta y el análisis en lugar de 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 [6]. 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 de la figura 2:



**Figura 2.** Bodega de datos.

**Fuente:** elaboración propia.

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 lo realiza a través de una vista de la base de datos que contiene la siguiente estructura plasmada en la figura 3:

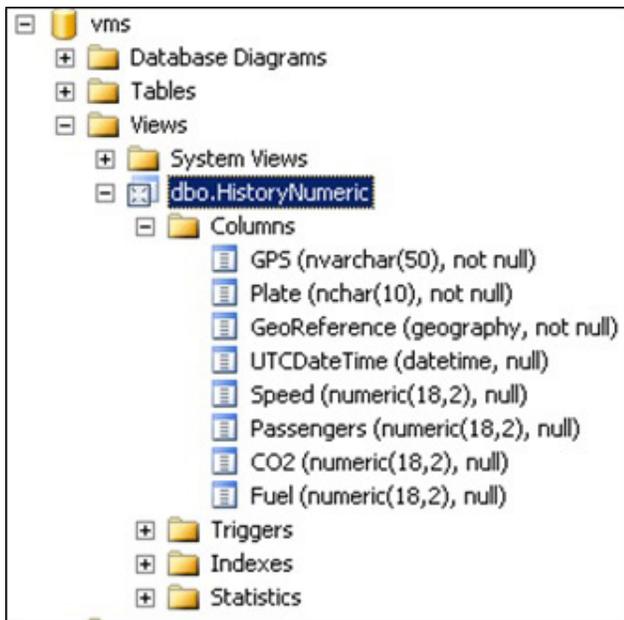


Figura 3. Esquema de la bodega de datos.

Fuente: elaboración propia.

b) Una vez limpiados los datos del motor se crea la estructura general del proyecto de inteligencia de negocios, tal como lo muestra la figura 4:

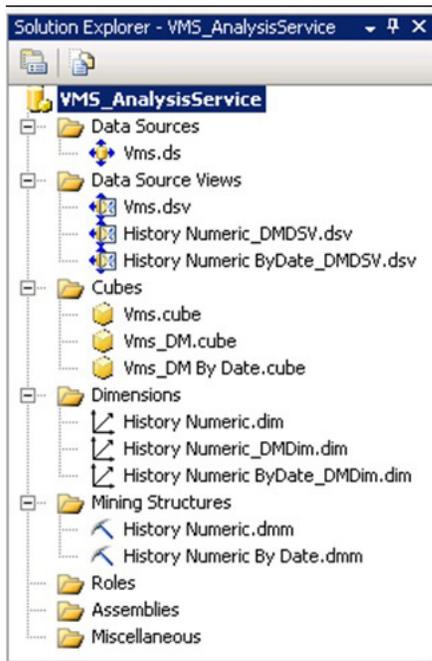


Figura 4. Proyecto de inteligencia de negocio.

Fuente: elaboración propia.

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.

## 5. RESULTADOS

Al aplicar los algoritmos de minería de datos Microsoft Time Series y Microsoft Association Rules [7] se obtuvieron los siguientes resultados:

Al definir las geocercas de la siguiente forma:

- Geocerca downtown = POLYGON (“downtown”) con los parámetros de Google Maps [8], se encontró que el promedio de velocidad de los vehículos monitoreados oscilan entre 0.0 y 22.31 km/h entre las 11 am y la 1 pm.
- 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 oscila entre 27.46 y 66.09 km/h entre las 11 am y la 1 pm.
- Por otra parte, el algoritmo Microsoft Time Series [9] obtuvo los siguientes resultados, mostrando las predicciones para noviembre y diciembre del presente año. 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 se muestran en la tabla 2:

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

Fuente: elaboración propia.

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 geo-cercas del sistema, con un desfase de más o menos 3 km/h 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 re-crear 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 lagunas rutas donde se ha tenido la posibilidad de replantear los tiempos de despacho y tránsito en la ruta.
- 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 gigantesca 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 toma de decisiones trascendentales basadas en modelos de proyección estadística.

## 6. 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.

## 7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

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.

## REFERENCIAS

- [1] E. Newcomer, "Understanding Web Services: XML, WSDL, SOAP, and UDDI", 1st edition, Addison-Wesley Professional, p. 368, 2002.
- [2] G., Shmueli, N., Patel, & P. Bruce, "Data Mining for Business Intelligence: Concepts, Techniques, and Applications in Microsoft Office Excel with XLMiner", 2nd edition, Wiley, p. 428, 2010.
- [3] J. Hanson, "Mashups: Strategies for the Modern Enterprise", Addison-Wesley Professional, p. 408, 2009.
- [4] B. Larson, "Delivering Business Intelligence with Microsoft SQL Server 2012 3/E", 3rd edition, McGraw-Hill Osborne Media, p. 832, 2012.
- [5] T. Halonen, J. Romero, & J. Melero, "GSM, GPRS and EDGE Performance: Evolution Towards 3G/UMTS" 2nd Edition, Wiley, 2003.
- [6] Oracle Corporation, "Oracle9i Data Warehousing Guide Release 2 (9.2), 1 Data Warehousing Concepts", febrero de 2015. [En línea]. Disponible en: [http://docs.oracle.com/cd/B10501\\_01/server.920/a96520/concept.htm](http://docs.oracle.com/cd/B10501_01/server.920/a96520/concept.htm)
- [7] Microsoft Corp. "Microsoft Association Algorithm Technical Reference", febrero de 2015. [En línea]. Disponible en: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/cc280428.aspx>
- [8] E. Petroustos, "Google Maps: Power Tools for Maximizing the API", 1st Edition, McGraw-Hill Education, p. 464. 2004.
- [9] Microsoft Corp. "Microsoft Time Series Algorithm Technical Reference", febrero de 2015. [En línea]. Disponible en: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb677216.aspx>

