

## UNA ARQUITECTURA PARA REPRESENTAR TRAYECTORIAS DE OBJETOS ESPACIALES EN BASES DE DATOS DE OBJETOS EN MOVIMIENTO

### AN ARCHITERTURE TO REPRESENT SPATIAL OBJECTS IN MOVING OBJECT DATABASES

ALVARO ENRIQUE ORTIZ DÁVILA  
RUBEN JAVIER MEDINA DAZA

#### Resumen

La dinámica temporal de los objetos espaciales en la naturaleza, tienen la particularidad de poder cambiar de posición, forma y densidad con el pasar del tiempo. Estos cambios pueden representarse en bases de datos espaciales, pero de forma discreta, lo cual limita mucho los análisis deseados sobre la información almacenada, debido a que la forma natural como se percibe el tiempo es de manera continua. Como respuesta tecnológica surgieron las Bases de Datos de Objetos en Movimiento, que permiten trazar trayectorias de los cambios en el tiempo sobre los objetos espaciales, sin embargo sólo es posible realizar dichas trayectorias sobre puntos en movimiento, por lo que las trayectorias sólo pueden representar cambios de posición geográfica.

En el presente artículo se mostrará una arquitectura para un proyecto de investigación que permite realizar trayectorias de cambios de forma y densidad sobre objetos de topología polígono en bases de datos de objeto en movimiento.

**Palabras clave:** Bases de datos espacio-temporales, lenguajes de arquitectura, objetos en movimiento, trayectorias espaciales.

#### Abstract

In the nature, the temporal dynamics of spatial objects have the peculiarity of being able to change position, form and density over time. These changes can be represented in spatial databases, but indiscrete form, which greatly limits the analysis over the stored information, due to the natural way we perceive time is continuous. As a technological response, Moving Object Databases allow tracing changes of spatial object in trajectories over the time; however, actually it is only possible to perform such trajectories on moving points, so that trajectories can only represent changes on geographical position.

In this article, we will show an architecture for a research project that allows performing trajectories of

shape and density changes over polygon topology objects in moving object databases.

**Key words:** Architectural language, moving objects, Spatio-Temporall databases, spatial trajectories.

### La información espacial

La información espacial es una característica de todo tipo de objeto concreto del cual se tiene una abstracción, ya que todos los elementos se encuentran en un lugar específico (ocupa un espacio en el mundo), y lo podremos representar en un mapa o una imagen, o también podemos representar su ubicación como una dirección, código postal, coordenadas o cualquier otra que represente una posición específica sobre la tierra. Se dice que un objeto está georreferenciado cuando se asocia a una referencia espacial sobre la superficie terrestre.

La información espacial tiene se puede representar con tres tipos de modelos diferentes [1][2]:

- Como una colección de características discretas en formato vectorial
- Como una grilla de celdas de información espectral o atributos
- Como un conjunto de puntos triangulados que modelan una superficie

La OGC describe la arquitectura como un modelo de objetos para representar la información espacial incluyendo sus atributos geométricos representados en partes por composiciones lineales o interpolaciones de planos entre conjuntos de puntos [3]. Estos objetos espaciales se distribuyen en una plataforma computacional neutral usando notación UML (Unified Modeling Language) [4]. Figura 1. La clase Geometry tiene subclases de Point, Curve, Surface y GeometryCollection, cada objeto geométrico se asocia con un sistema de referencia espacial, el cual describe el espacio de coordenadas en el cual se definen los objetos espaciales [5].

El modelamiento con información vectorial es una de las formas de representar objetos discretos con límites y formas definidas con su posición bien establecida, atributos y metadatos.

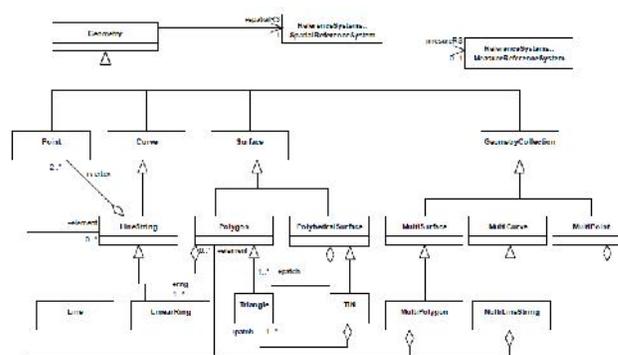


Figura 1. Jerarquía de la clase Geometry  
Fuente: [5].

### Las Bases de datos espaciales

Una base de datos se define de forma simple como una colección de datos interrelacionados, algunos autores le adicionan a esta definición una descripción de los datos (catalogo), y que los datos satisfacen las necesidades de una organización [6]. Cuando las bases de datos se almacenan digitalmente, lo más recomendable es que las administre un sistema manejador de bases de datos (DBMS, por sus siglas en ingles). Un DBMS se puede definir como una base de datos y un conjunto de programas para acceder a la base de datos, básicamente es un sistema de software mediante el cual los usuarios definen, crean, mantienen y controlan el acceso a la base de datos [7].

Actualmente, el software de los sistemas manejadores de bases de datos está dominado por el modelo relacional, gracias a su simplicidad, su fácil manejo y el lenguaje utilizado (SQL), que se ha convertido en un estándar de facto y es ampliamente utilizado por la comunidad de bases de datos. En el modelo relacional todos los datos se estructuran lógicamente mediante relaciones (tablas). Cada relación tiene un nombre y está compuesta por atributos (columnas) y se define un conjunto de valores permitidos para cada columna (dominio). Cada fila de la tabla contiene un valor para cada atributo. Esta estructura simple, es una de las mayores fortalezas del modelo relacional [8].

Inspirado en los lenguajes de programación orientados a objetos, los DBMS añadieron nuevas características al modelo relacional mediante los tipos abstractos de

datos, ampliando también el lenguaje de consultas SQL (SQL-99) [9], implementando las funciones para trabajar con esos nuevos tipos de datos y dar nacimiento a las bases de datos relacionales orientadas a objeto (objeto-relacionales) [6].

Uno de los tipos abstractos de datos que se definieron en los sistemas manejadores de bases de datos objeto-relacionales fueron los espaciales, con el propósito de poder administrar y realizar operaciones con información espacial. Se deben incluir también funciones y operadores que permitan trabajar con esos tipos abstractos de datos como parte de la funcionalidad general de la base de datos [10][11]. Los tipos de datos y las funciones desarrolladas para los DBMS fueron los definidos por la OGC, permitiendo que cualquier aplicación como los SIG (Sistemas de Información Geográfica) se pueda conectar con ellas sin dificultad alguna [12].

Las bases de datos espaciales son entonces, una extensión de las bases de datos que incluyen tipos abstractos de datos que definen tipos de datos espaciales y las funciones necesarias para administrar, representar y realizar operaciones básicas directamente con el lenguaje SQL. La base de datos espacial debe incluir métodos de indexación espacial que hagan eficientes las operaciones sobre la información espacial [13].

### El tiempo en los datos espaciales

En la definición de la dinámica de los objetos geográficos, se asume que los requerimientos y reglas usados para definirlos, son persistentes en el tiempo, esto es, que son más que simples cambios en los valores de sus atributos de los objetos geográficos. La figura 2 muestra algunas de las características más comunes de los objetos geográficos en el tiempo. Los objetos pueden ser estáticos o estar en movimiento (Movement), pueden cambiar de forma con el tiempo (Geometry), o puede modificar su estructura interna (Internal Structure). Un objeto geográfico con atributos que cambian con el tiempo pero que no se mueven espacialmente, cambia en su forma o en su estructura interna. Todas las posibles combinaciones son mostradas en la figura 2. [14]

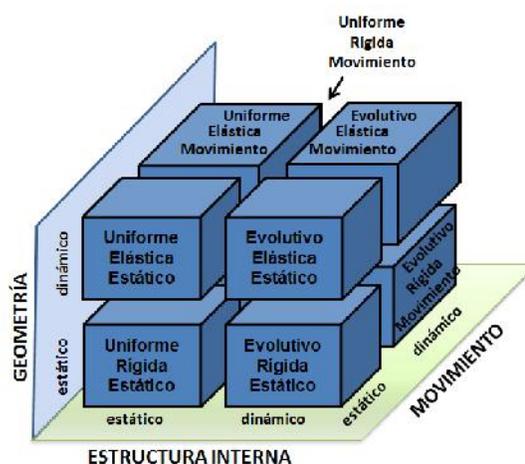


Figura 2. Tres dimensiones de la variabilidad temporal en objetos geográficos

Fuente: [14]

### Bases de datos espacio-temporales

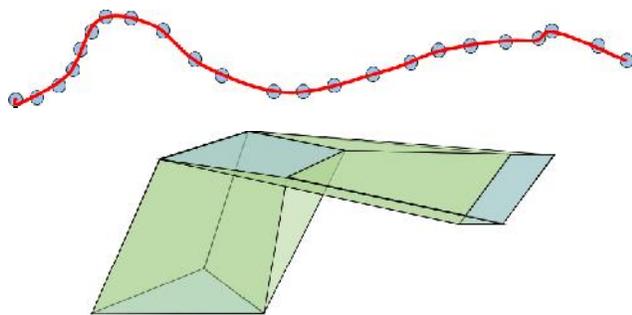
El objetivo principal de las bases de datos temporales es permitir el almacenamiento de información relacionada con instancias temporales pasadas, presentes y futuras. Para lograr este objetivo, es necesario adicionar un período de tiempo a las expresiones de datos para que sea válido su almacenamiento, permitiendo representar diferentes estados de la base de datos en el tiempo [15].

La forma más común de adicionar el factor temporal a los datos ordinarios es asociarles estampillas de tiempo que incluye un intervalo de tiempo mediante un instante inicial y otro final. En los sistemas manejadores de bases de datos, el modelo de datos se puede extender adicionando atributos de tiempo y las operaciones asociadas a estos atributos, para que modele y almacene relaciones temporales [16].

Las bases de datos espacio-temporales son diseñadas para soportar consultas relacionadas con localizaciones y tiempo. Usualmente se implementan sobre extensiones u opciones de bases de datos relacionales, en esas tablas existen columnas para atributos de localización, para almacenar la posición y de tiempo para registrar cuándo el objeto fue almacenado. Por supuesto, se deben adicionar las funciones y operadores espaciales al estándar SQL [17].

Una de las formas en las que se representan los cambios de posición de los diferentes objetos en periodos de tiempos es usando las bases de datos de objetos en movimiento, la cual no sólo se encarga de estampillar el tiempo sobre objetos que están espacialmente referenciados, sino que mira el continuo de los cambios, esto es, la historia completa de los cambios realizados, permitiendo registrar los cambios de los objetos de forma continua y no solamente discreta [18].

Las bases de datos de objetos en movimiento deberían entonces, representar trayectorias de los cambios, lo que permitirá responder a cualquier consulta respecto a su posición en cualquier momento (figura 3).



**Figura 3.** Trayectorias de puntos y polígonos  
Fuente: Autor

Podemos notar que al representar el movimiento de un objeto espacial, se aumenta una dimensión a la representación de la trayectoria, de tal forma que tenemos una línea cuando es un punto en movimiento, y un poliedro cuando es una región en movimiento. Para el caso de las regiones en movimiento, si el objeto no cambia de forma sino solamente de posición, de forma general podemos usar la fórmula para la representación de un poliedro de éste tipo, sin importar el número de caras de éste, mediante la fórmula que propuso Harod Velásquez, los poliedros están formados por caras, donde cada cara es un polígono regular con  $\beta$  es la cantidad de lados que tiene el polígono regular,  $C$  la cantidad de caras que tiene el poliedro regular,  $L$  la magnitud de la arista del poliedro regular y  $R$  la magnitud del radio de la esfera circunscrita al poliedro regular

$$R = \left( \sqrt{\frac{\cot^2 \frac{\pi}{\beta}}{1 - \sin^2 \left( \frac{C\pi - 2\pi}{C\beta} \right)} \csc^2 \frac{2\pi}{\beta}} + 1 \right) \frac{L}{2} \quad (1)$$

En la fórmula se relaciona la arista de un poliedro regular con el radio de la esfera circunscrita. Como es un poliedro regular, y la resultante es uno irregular, debido a la extensión del trayecto, se crea una función extend(), que alargará el poliedro, simplemente haciendo una suma en las coordenadas finales, de acuerdo con la distancia euclidiana del objeto origen al objeto destino, y conservando la dirección del movimiento, y se crea un polígono 3D que se puede visualizar gráficamente mediante una conexión con un sistema de información geográfico que soporte 3D como QuantumGIS, entre otros. La trayectoria completa se formaría uniendo en un solo polígono cada uno de los poliedros resultantes, cada uno de ellos formando un tramo de la trayectoria entre dos instantáneas (snapshot) de tiempo del objeto en movimiento, siendo la instantánea final del tramo n, la instantánea inicial del tramo n+1.

Actualmente se puede generar trayectorias de puntos en movimiento en bases de datos de objetos en movimiento, pero aún no de polígonos en movimiento no se han implementado álgebras que puedan desarrollarla, y la investigación a la que hace referencia el presente artículo corresponde precisamente al desarrollo e implementación de una arquitectura que permita implementar un álgebra que para representar trayectorias de polígonos en movimiento que muestre su dinámica en los cambios de posición, de forma y de densidad.

### La arquitectura

ArchiMate es un lenguaje de modelado abierto e independiente de “The Open Group” para la arquitectura empresarial que proporciona instrumentos para apoyar a los arquitectos de las empresas en describir, analizar y visualizar las relaciones entre los dominios de negocio de una manera inequívoca [20].

El núcleo del lenguaje consiste en tres tipos principales de elementos: elementos de estructuras activas, elementos de comportamiento y elementos de estructuras pasivas (objetos). Los elementos de estructuras activas son los actores del negocio, componentes de aplicaciones y dispositivos que muestran el comportamiento actual. Un elemento de comportamiento se define como una unidad de

actividad ejecutada por uno o más elementos de estructuras activas. Las estructuras de elementos pasivos son los objetos sobre los cuales se ejecuta el comportamiento [21].

Estos tres aspectos son inspirados en el lenguaje natural, donde las sentencias tienen un sujeto (estructura activa), un verbo (comportamiento) y un objeto (estructura pasiva). Figura 4 [22].

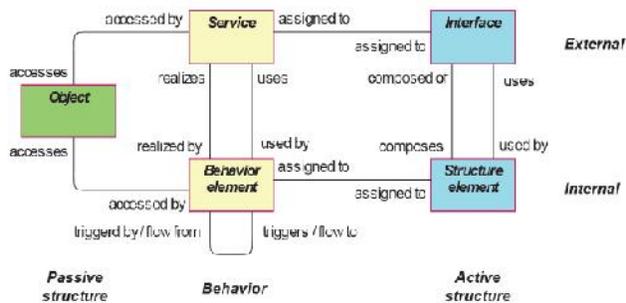


Figura 4. Metamodelo general de conceptos principales de ArchiMate

Fuente: Software COLOSO [22]

En las diversas arquitecturas es posible encontrar múltiples dominios, como los de organización, procesos de negocios, aplicaciones, información y arquitecturas técnicas. Cada uno de ellos tiene sus propios conceptos y representación visual en el modelado, permitiendo una simplificación en la comunicación y análisis en el dominio específico (figura 5) [20].

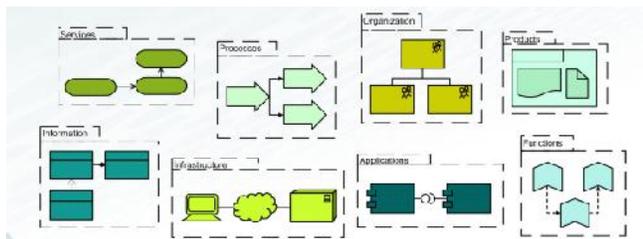


Figura 5. Dominios arquitectónicos en ArchiMate

Fuente: [20]

Una vista en capas proporciona una vista natural de mirar los modelos orientados a servicios, donde las capas superiores utilizan los servicios proporcionados por las capas inferiores. ArchiMate distingue tres capas principales: la capa de negocios que ofrece productos y servicios a clientes externos, realizados en la organización por los procesos de negocios que llevan a

cabo los actores del negocio y los roles; la capa de aplicación soporta la capa de negocios con aplicaciones de servicios realizados por componentes de aplicaciones (software); y la capa tecnológica que ofrece el servicio de infraestructura necesario para implementar las aplicaciones realizada por computadores, hardware de comunicación y sistemas de software (figura 6) [20][21].

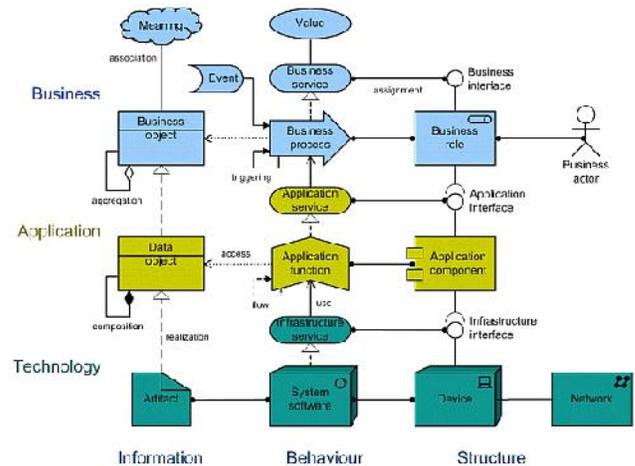


Figura 6. Los conceptos más importantes de ArchiMate

Fuente: [20].

En el proyecto de investigación “Dinámica de los fenómenos geográficos en bases de datos espaciales”, es necesario representar las trayectorias temporales de los cambios en los fenómenos geográficos mediante trayectorias en polígonos, para lo cual se definirá una arquitectura representada en ArchiMate.

Inicialmente se identifican los componentes de aplicación, las funciones de aplicación, los objetos de datos, los servicios de aplicación y las diferentes relaciones entre ellos. La tabla 1 resume cada componente encontrado

Tabla 1. Componentes en la generación de trayectorias

Tipo de elemento	Nombre
Componente de aplicación	Selector
Componente de aplicación	Vectorizador
Componente de aplicación	Generado
Servicio de aplicación	Selecciona
Servicio de aplicación	Identifica cambios
Función de aplicación	Convierte a vector

Función de aplicación	Genera trayectorias
Objeto de datos	Imagen
Objeto de datos	Objeto espacial
Objeto de datos	Trayectoria

En donde al partir de una imagen hay un componente de aplicación (Selector), que contiene un servicio (Selecciona) que aísla un elemento espacial, el cual es convertido a formato vectorial mediante una función de aplicación (Vectorizar ()) de la función de aplicación Vectorizador, esto genera un nuevo elemento de dato (Objeto espacial) sobre el cual un componente de aplicación (Detector) identifica los cambios sufridos en base a comparaciones entre las imágenes. A partir de los cambios identificados, otro componente de aplicación (Generador), mediante una función de aplicación genera un nuevo objeto de datos llamado Trayectoria, que es lo que finalmente buscamos en nuestro proceso, se puede visualizar gráficamente con un modelo en Archimate en la figura 7.

La infraestructura tecnológica requerida para la implementación, necesita de un servidor en donde se implementara el Detector y Generador sobre un Sistema Manejador de Base de Datos Espacial (SDBMS), en él reposará los resultados de los objetos espaciales vectorizados desde la imagen y las trayectorias generadas que representen los cambios sufridos por los objetos espaciales. Por otro lado, mediante unos servicios SOA [23][24] (Lector y Vectorizador) se accederá a los servicios de aplicación para identificar los elementos geográficos a partir de las imágenes y se vectorizan para crear los objetos espaciales sobre los que operará el Detector y Generador de la Base de datos Espacial. (Ver figura 8.)

De esta forma se tiene una abstracción completa sobre cómo se debe implementar. Pero un paso importante es determinar el grado de precisión de la trayectoria generada con la realidad de los movimientos realizados por los objetos reales. Para esto se define una métrica que permita realizar la evaluación de la precisión de los objetos extraídos de las imágenes de los sensores remotos y su correspondencia con los objetos del mundo real. Este proceso se debe realizar en cada una de las imágenes de la secuencia temporal para medir comparativamente con objetos del terreno mediante la técnica STEP propuesta por Lizarazo [25], el cual

permite determinar la precisión en la forma, el tema, el borde y la posición (Shape similarity, Theme similarity, Edge similarity y Position similarity – STEP).

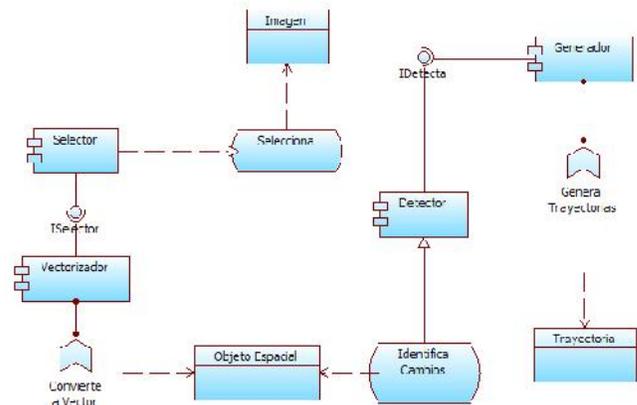


Figura 7. Proceso de generación de trayectorias  
Fuente: Autor con software Coloso [26]

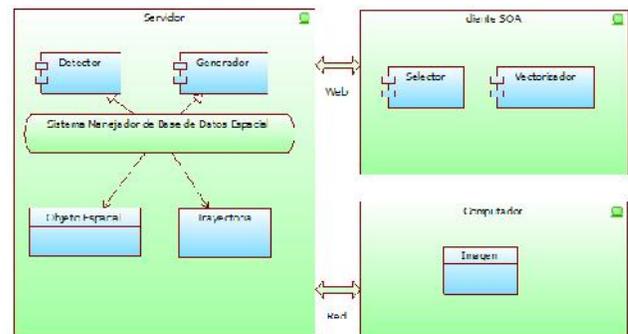


Figura 8. Infraestructura tecnológica  
Fuente: Autor con software Coloso[26]

Esta métrica de evaluación de la precisión STEP, genera una matriz de objetos individuales, que permite la creación de otra matriz de similitud temáticamente agrupada. Esta nueva matriz de similitud es una matriz cuadrada que expresa una similitud entre objetos de referencia (filas) y los objetos clasificados (columnas) agregados por categorías temáticas, el número de filas y columnas es igual al número de clases temáticas. Cada valor de celda almacena un conjunto de cuatro métricas de similitud temática agrupados. La agregación de valores de la columna para la similaridad de forma es conducida por la ecuación

$$S_j = \sum_{i=1}^n (aiSi) \quad (2)$$

## Conclusiones

El nivel de abstracción adquirido mediante un lenguaje de arquitectura como ArchiMate es valiosísimo al momento de definir componentes, interacciones e infraestructura necesaria para llevar a cabo un proyecto cualquiera, para el caso, el proyecto de investigación que determina trayectorias temporales de cambios espaciales a partir de imágenes satelitales.

Los lenguajes formales como ArchiMate y UML, son herramientas que permiten describir sin ambigüedades la arquitectura de un proceso, una empresa, máquina, negocio, etc., su uso hace que se tenga que pensar en cada componente, de tal forma que se tiene un espectro amplio del uso y utilidad de cada uno y su relevancia en el contexto general.

## Referencias

- [1] Michael Zeiler, *Modeling Our World*. Readlands, California: ESRI Press, 1999.
- [2] Instituto Geográfico Agustín Codazzi, *Conceptos básicos sobre Sistemas de Información Geográfica y aplicaciones en Latinoamérica*. Bogotá, Colombia, 1995.
- [3] Open Geospatial Consortium, «OGC Reference Model». Open Geospatial Consortium, Inc., 19-dic-2011.
- [4] Object Management Group, «OMG Unified Modeling Language™ (OMG UML), Superstructure». Object Management Group, ago-2011.
- [5] Open Geospatial Consortium, Inc., «Implementation Standard for Geographic Information – Simple feature access – Part 1: Common architecture». Open Geospatial Consortium, Inc., 2011.
- [6] A. Silberschatz, H. F. Korth, y S. Sudarshan, *Database System Concepts*, Edición: 6. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2010.
- [7] T. Connolly y C. Begg, *Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation, and Management*, Edición: Revised. Boston: Addison Wesley Pub Co Inc, 2014.
- [8] C. J. Date y A. Date, *Date on Database: Writings 2000-2006*. .
- [9] ISO, International Organization for Standardization, «ISO/IEC 9075-1:2011 Information technology -- Database languages - SQL -- Part 1: Framework (SQL/Framework) ». ISO, International Organization for Standardization, 2011.
- [10] Shashi Shekhar y Sanjay Chawla, *Spatial Databases a Tour*. Prentice Hall, 2003.
- [11] I. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, D. Departamento Nacional de Estadística, y D. Departamento Nacional de Planeación, «Documento Compes 3585». Nacional de Política Económica y Social - CONPES, 16-feb-2009.
- [12] Open Geospatial Consortium, Inc., «Implementation Standard for Geographic information - Simple feature access - Part 2: SQL option». Open Geospatial Consortium, Inc., 2010.
- [13] Regina O. Oboe y Leo S. Hsu, *PostGIS in Action*. Manning Publications Co., 2011.
- [14] T. J. Cova y M. F. Goodchild, «Extending geographical representation to include fields of spatial objects», *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, vol. 16, n.º 6, pp. 509-532, 2002.
- [15] C. Combi, A. Montanari, y P. Sala, «A Uniform Framework for Temporal Functional Dependencies with Multiple Granularities», presentado en 12th international conference on Advances in spatial and temporal databases, 2011.
- [16] *Temporal Databases: Theory, Design, and Implementation*. 1993.
- [17] R. T. Snodgrass, «Temporal Database». University of Arizona.
- [18] Ralf Hartmut Güting, *Moving Objects Databases*. Amsterdam : Boston: Morgan Kaufmann, 2005.
- [19] «Microsoft Word - document.docx - funcion-poliedros-regulares.pdf». .

- [20] «The ArchiMate® Modeling Language, an Open Group Standard». [En línea]. Disponible en: <http://www.archimate.nl/en/home/>. [Accedido: 15-oct-2014].
- [21] «Enterprise Architecture Standards | the Open Group». [En línea]. Disponible en: <http://www.opengroup.org/standards/ea>. [Accedido: 15-oct-2014].
- [22] «Colosoft - Portal de productos y servicios informáticos». [En línea]. Disponible en: <http://www.colosoft.com.co/home>. [Accedido: 15-oct-2014].
- [23] «SoaML 1.0.1». [En línea]. Disponible en: <http://www.omg.org/spec/SoaML/1.0.1/>. [Accedido: 21-oct-2014].
- [24] Object Management Group, «Service oriented architecture Modeling Language (SoaML) Specification». May-2012.
- [25] I. Lizarazo, «Accuracy assessment of object-based image classification: another STEP», *Int. J. Remote Sens.*, vol. 35, n.º 16, pp. 6135-6156, Agosto 2014.
- [26] Bolaños Castro Sandro Javier, Gonzalez Crespo Rubén, Sanjuan Martinez Oscar, Pascual Espada Jordán, y Medina Garcia Victor Hugo, «COLOSO A Development Environment Centered Process and Intent».

## INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

**Álvaro Enrique Ortiz Dávila:** Ingeniero de Sistemas – Universidad Central – Colombia. Magister en Ingeniería de Sistemas – Universidad Nacional – Colombia.

Docente Investigador – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. [aeortiz@udistrital.edu.co](mailto:aeortiz@udistrital.edu.co), [aeoerizd@gmail.com](mailto:aeoerizd@gmail.com)

**Rubén Javier Medina Daza:** Licenciado en Matemáticas – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Especialista en Ingeniería de Software – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Especialista en Sistemas de Información Geográfica – Universidad Distrital

Francisco José de Caldas – Colombia. Magister en Sistemas de Información Geográfica – Universidad Pontificia de Salamanca – España. Magister en teleinformática – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Doctor en Informática con énfasis en Sistemas de Información Geográfica – Universidad Pontificia de Salamanca – España. Docente Investigador – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia – [medina@udistrital.edu.co](mailto:medina@udistrital.edu.co)