

REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO EN DATOS ESPACIO-TEMPORALES PARA SIGs: UN ENFOQUE BASADO EN ESQUEMAS PRECONCEPTUALES

Carlos Mario Zapata Jaramillo

PhD. en Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión, Facultad de Minas
cmzapata@unal.edu.co

Claudia Elena Durango Vanegas

MSc. en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia.
Docente de la Facultad de Ingeniería.
Universidad de San Buenaventura.
claudia.durango@usbmed.edu.co

(Tipo de Artículo: **Investigación**. Recibido el 25/05/2013. Aprobado el 28/06/2013)

RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) representan fenómenos geográfico-dinámicos y contienen datos espacio-temporales de entidades geográficas. Las representaciones de estos datos se basan en diferentes tipos de diagramas: entidad-relación, orientados a objetos, orientados a eventos y clases. Estos diagramas tienen diferentes formas de representación y almacenamiento de los datos espacio-temporales, pero no consideran la información contenida en dichos diagramas para mejorar la interoperabilidad existente entre ellos. Además, los usuarios de estos diagramas requieren habilidades técnicas de modelado, que no suelen tener los usuarios de los SIG. La interoperabilidad en los SIG se interpreta como la necesidad de integrar datos de diferentes fuentes. En este artículo se propone una representación de datos espacio-temporales, que permite identificar los datos mínimos requeridos para la interoperabilidad entre diferentes estándares para SIG. Se emplean los denominados esquemas preconceptuales para la representación del conocimiento en este tema, pues posibilitan la ejemplificación de los conceptos y son computacionalmente tratables.

Palabras clave

Sistemas de Información Geográfica, datos espacio-temporales, esquemas preconceptuales.

KNOWLEDGE REPRESENTATION IN SPATIO-TEMPORAL DATA FOR GIS: AN APPROACH BASED ON PRE-CONCEPTUAL SCHEMAS

ABSTRACT

Geographic Information Systems (GIS) represent some geographic-dynamic phenomena and contain spatio-temporal data of geographical entities. Such data can be represented by using several diagrams: entity-relationship, object-oriented, and class diagrams. These diagrams have several ways to represent and store the spatio-temporal data, but they do not use the information contained on them for the improvement of the inter-diagram interoperability. In this paper we propose a spatio-temporal data representation. From such a representation, we can identify the minimal data to be used for promoting interoperability among several GIS communities. We use the so-called pre-conceptual schemas for representing knowledge in this subject. Pre-conceptual schemas allow exemplifying concepts and they are computationally manageable.

Keywords

Geographic Information Systems, spatio-temporal data, pre-conceptual schemas.

RÉPRESENTATION DE LA CONAISSANCE SUR DONNÉES SPATIO-TEMPORELS POUR SIG: UN APPROCHE D'APRÈS LES SCHEMAS PRÉ-CONCEPTUELS

RÉSUMÉ

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) représentent des phénomènes géographique-dynamiques et contiennent des données spatio-temporelles des entités géographiques. Les représentations de ces données se basent sur différents types de diagramme : entité-relation, orienté objets, orienté-événement et classes. Ces diagrammes ont des différentes formes de représentation et mise en mémoire de données spatio-temporelles, mais ne considèrent pas l'information contenue dans tels diagrammes pour améliorer l'interopérabilité entre eux. Cet article propose une représentation de données spatio-temporelles qui permet d'identifier les données nécessaires pour l'interopérabilité entre des différentes communautés SIG. On utilise les schémas pré-conceptuels pour la représentation de la connaissance autour de ce sujet, parce qu'ils nous permettent d'illustrer des concepts et ils sont aussi aimables d'après le point de vue de l'informatique.

Mots-clés

Systèmes d'Information Géographique, données spatio-temporels, schemas pré-conceptuels.

1. INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) tienen la capacidad de integrar datos espaciales y descriptivos [1]. Los SIG apoyan la toma de decisiones en diferentes campos de aplicación mediante el análisis del comportamiento de fenómenos geográfico-dinámicos, de componentes temporales y espaciales [2]. El análisis de información geográfica permite incorporar información de diferentes fuentes. Para que esto sea posible se requiere que los datos geográficos tengan la capacidad de interoperar [17, 21]. El *Open Geospatial Consortium* (OGC) tiene como propósito la definición de estándares abiertos e interoperables dentro de los Sistemas de Información Geográfica y de la *World Wide Web* [16].

Algunos autores proponen representaciones de los SIG mediante el uso de diagramas y modelos gráficos. Estas representaciones se enfocan en las características del diseño del SIG, basadas en el almacenamiento o representación de la información del proyecto, pero sin identificar la información mínima que contienen los datos espacio-temporales para que sea compatible con diferentes SIG. Además, estas representaciones requieren conocimiento intensivo de modelado para su elaboración y lectura, un conocimiento que, en general, no suelen poseer los usuarios de los SIG. En este artículo se propone una representación de datos espacio-temporales, que permite identificar los atributos mínimos requeridos para la interoperabilidad de dichos datos entre diferentes estándares para SIG.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la Sección 2 se presenta el marco teórico, donde se realiza una descripción de los sistemas de información geográfica, los datos espacio-temporales y los esquemas preconceptuales; en la Sección 3 se presentan los antecedentes, donde se revisan los diferentes modelos de representación de datos espacio-temporales en SIG; en la Sección 4 se presentan los elementos principales de los formatos de datos espacio-temporales; en la Sección 5 se presenta una propuesta para la representación del conocimiento en datos espacio-temporales para SIG con un enfoque basado en esquemas preconceptuales. Finalmente, en la Sección 6 se presentan las conclusiones y el trabajo futuro.

2. MARCO TEÓRICO

Los sistemas de información geográfica son programas para capturar, almacenar, transformar, analizar y presentar información referenciada geográficamente [1]. La información se utiliza en diferentes aplicaciones: climáticas, atmosféricas, meteorológicas y epidemiológicas, entre otras [3].

La información geográfica contiene atributos y su correspondiente representación espacial. La representación del espacio geográfico se realiza principalmente mediante dos modelos de datos: *raster* y *vector*. El modelo *raster* se caracteriza por representar el espacio geográfico mediante píxeles o celdas, mientras que el modelo *vector* utiliza figuras geométricas convencionales (puntos, líneas, polígonos) [4].

El tiempo es una dimensión fundamental para entender y modelar la evolución de los fenómenos geográficos. Se considera que los fenómenos y actividades espacio-temporales dependen directamente de la transformación del espacio geográfico [5]. El modelado espacio-temporal permite incorporar a los SIG la variable tiempo, mejorando capacidades y características para modelar y resolver problemas geográficos [6]. La manipulación de los datos espacio-temporales se realiza principalmente mediante los siguientes estándares: NetCDF (*Network Common Data Form*) [7, 21, 22], HDF (*Hierarchical Data Format*) [8, 21, 22], XML (*eXtensible Markup Language*) [9, 22], GML

(*Generalized Markup Language*) [10] y KML (*Keyhole Markup Language*) [11].

Para la comprensión de los estándares, una opción consiste en representarlos de una manera clara para los usuarios de los SIG y, para ello, los esquemas preconceptuales, que permiten representar un dominio específico, emplean una simbología fácil de entender para los interesados. Estos esquemas permiten validar los conocimientos técnicos del especialista y los requisitos de los interesados. Los esquemas preconceptuales utilizan un lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema (Véase la Fig. 1) [12]. Con los esquemas preconceptuales, los especialistas en SIG pueden identificar las características de los datos espacio-temporales.

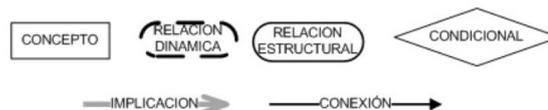


Fig. 1. Simbología básica de los esquemas preconceptuales [12]

Los esquemas preconceptuales ejecutables permiten al interesado ver el estado actual y las condiciones que se cumplen para realizar una acción basada en ejemplos. En los esquemas preconceptuales ejecutables se debe distinguir entre [12].

- **Conceptos-clase:** Son conceptos que contienen en su interior atributos y se pueden instanciar. Estos conceptos se reconocen porque de ellos parten relaciones estructurales de tipo "tiene". La simbología es igual a la de los esquemas preconceptuales (Véase la Fig. 2) [12].
- **Conceptos-atributo:** Son conceptos hoja dentro de un esquema preconceptual, de los cuales no se desprende ninguna relación estructural. Además, son atributos de un concepto-clase. Los conceptos atributo se especifican con el nombre del atributo seguido del símbolo igual ("=") y, por último, el valor ejemplo que toma el atributo. Los valores que toma deben ir entre comillas cuando son de tipo alfanumérico y sin comillas cuando son valores numéricos (Véase la Fig. 2) [12].



Fig. 2. Representación de Concepto-clase y Concepto-atributo [12]

3. ANTECEDENTES

Shuo *et ál.* [13] proponen un esquema de datos relacional para modelar la evolución de la información espacial (Véase la Fig. 3). El esquema se diseñó para representar los objetos básicos, a nivel de versionado, relacionados con eventos y procesos. En el esquema, un objeto puede tener una o varias versiones y los eventos y procesos se almacenan separadamente. El esquema permite el manejo cronológico de secuencias históricas, pues tanto los eventos como los procesos tienen tiempo de inicio y fin [13].

Shuo *et ál.* [5] también proponen un modelo de datos espacio-temporales basado en versionado y en la identificación de los eventos (Véase la Fig. 4), donde los eventos afectan los procesos en diferentes versiones de los objetos [5]. En relación con esta última representación, el modelo es un diagrama entidad-relación, que requiere, para su comprensión, entrenamiento en el diseño de sistemas de

información. Este entrenamiento no es usual entre los usuarios de los SIG.

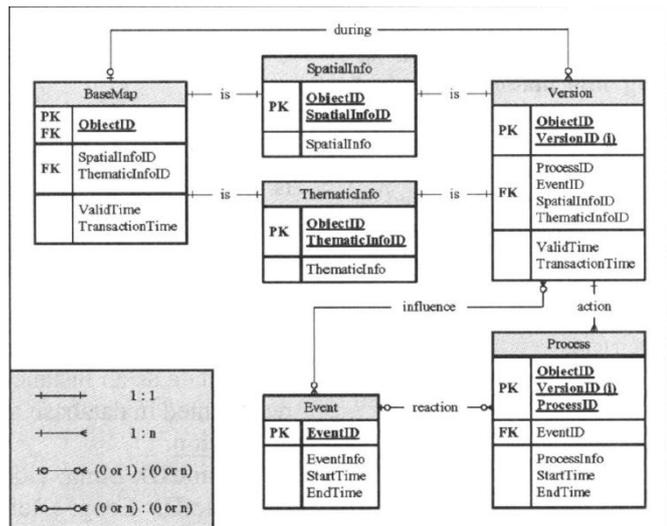


Fig. 3. Esquema de datos relacional [13]

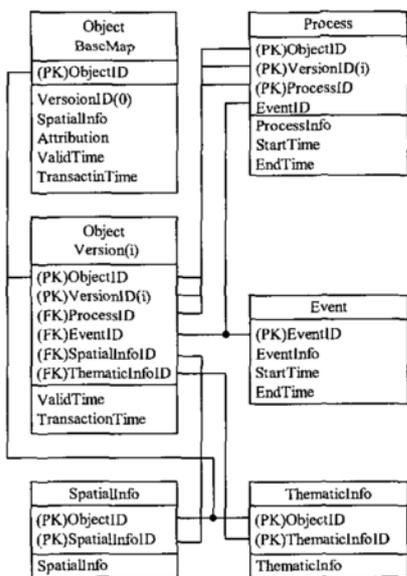


Fig. 4. Modelo de Datos Conceptual [5]

Deng y Zheng [14] proponen un diagrama de clases para bases de datos espaciales (*geodatabase*). Los datos espacio-temporales se almacenan en tablas históricas y se accede a ellas mediante un atributo de versionado en la *geodatabase*. En la versión de la *geodatabase* es importante el tiempo inicial y el tiempo final de un objeto espacial, que se representan con la clase temporal (Véase la Fig. 5). Los autores presentan un modelo de las bases de datos espaciales con clases, relaciones, atributos y operaciones. El modelo se basa en almacenamiento mediante tablas históricas, por lo que no se requiere el manejo de los formatos de almacenamiento. El modelo es un diagrama de clases, para el cual también se requiere un entrenamiento técnico que los usuarios SIG que no suelen poseer [14].

4. ESQUEMAS PRECONCEPTUALES DE DATOS ESPACIO-TEMPORALES

Para solucionar los problemas que se identificaron en la Sección anterior, se presentan los esquemas preconceptuales de los formatos de datos espacio-

temporales: XML, GML, KML, NetCDF y HDF. En estos esquemas es posible identificar las estructuras y características mínimas de los datos espacio-temporales para mejorar la interoperabilidad de la información entre sistemas de información geográfica elaborados en diferentes estándares. Además, por la facilidad de lectura de su sintaxis, los usuarios de los SIG no requieren entrenamiento técnico para su uso.

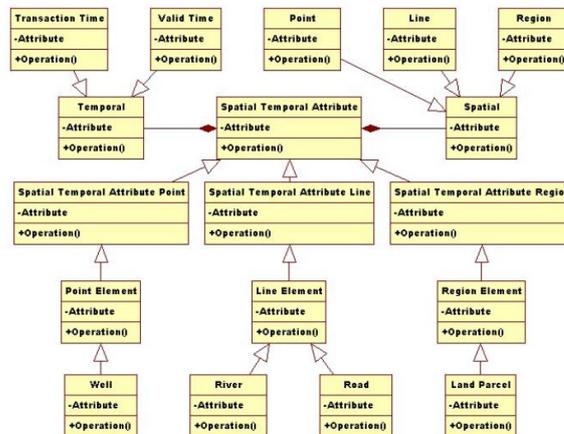


Fig. 5. Diagrama de Clases [14]

4.1. Caracterización de los Formatos

El *Extensible Markup Language* (XML) es un estándar de texto simple, muy flexible, derivado del SGML (ISO 8879). XML desempeña un papel importante en el intercambio de datos en la Web [15, 22]. Además, es un formato que permite la lectura de datos de diferentes aplicaciones y sirve para estructurar, almacenar e intercambiar información [15]. En la Fig. 6, se muestra un ejemplo del formato XML para datos espacio-temporales cuya estructura consta de varios elementos (*namespace, header, dataset*) y parámetros (*index, stadistics, nodata, units, name, data value, date*). En el esquema XML se pueden definir otras etiquetas, según las necesidades de la comunidad SIG. Ejemplos de estas etiquetas son: *resolution, period, interval, observation, description, etc.*

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<Dataset observations="Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia" type="Calidad_Agua" source="CORANTIOQUIA">
  <Layer_0 fid="0">
    <name>Aula_Ambiental</name>
    <geometryProperty>
      <Point>
        <coordinates>-75.5724,6.2641,0</coordinates>
      </Point>
    </geometryProperty>
    <variable>
      <index statistics="average" nodata="99999" units="°C" name="Temperatura">
        <data value="20.1" time="06/03/2007 06:00:00"/>
        <data value="20.06" time="06/03/2007 06:30:00"/>
        <data value="20.08" time="06/03/2007 07:00:00"/>
        <data value="20.17" time="06/03/2007 07:30:00"/>
        <data value="20.33" time="06/03/2007 08:00:00"/>
        <data value="20.53" time="06/03/2007 08:30:00"/>
        <data value="20.82" time="06/03/2007 09:00:00"/>
        <data value="21.04" time="06/03/2007 09:30:00"/>
        <data value="21.36" time="06/03/2007 10:00:00"/>
        <data value="21.53" time="06/03/2007 10:30:00"/>
        <data value="21.56" time="06/03/2007 11:00:00"/>
        <data value="21.78" time="06/03/2007 11:30:00"/>
        <data value="22.31" time="06/03/2007 12:00:00"/>
        <data value="22.41" time="06/03/2007 12:30:00"/>
        <data value="22.56" time="06/03/2007 13:00:00"/>
        <data value="22.81" time="06/03/2007 13:30:00"/>
        <data value="22.94" time="06/03/2007 14:00:00"/>
        <data value="23.26" time="06/03/2007 14:30:00"/>
        <data value="23.52" time="06/03/2007 15:00:00"/>
        <data value="23.64" time="06/03/2007 15:30:00"/>
        <data value="23.69" time="06/03/2007 16:00:00"/>
        <data value="23.55" time="06/03/2007 16:30:00"/>
        <data value="23.44" time="06/03/2007 17:00:00"/>
        <data value="23.15" time="06/03/2007 17:30:00"/>
        <data value="22.86" time="06/03/2007 18:00:00"/>
      </index>
      <index statistics="average" nodata="99999" units="unidades_pH" name="pH">
      <index statistics="average" nodata="99999" units="mg/l" name="Oxigeno Disuelto">
      <index statistics="average" nodata="99999" units="mg/l O2" name="DBO5">
    </variable>
  </Layer_0>
  <Layer_1 fid="1">
  <Layer_2 fid="2">
</Dataset>
```

Fig. 6. Ejemplo estándar XML. Fuente: Página web de CORNARE

En la Fig. 7 se propone la estructura básica de representación del formato XML, utilizando un esquema preconceptual ejecutable.

Formato	Nombre del archivo	Encabezado	Descripción de los datos
HDF	Name	Header	Comentarios, utilizando para iniciar "/*" y para finalizar */

Tabla 1. Elementos comunes de los estándares de datos espacio-temporales (2/2)

Formato	Elemento geográfico	Identificación de elemento geográfico	Nombre del elemento geográfico
XML	Feature	Feature\FID	FeatureName
GML	Schema	Schema\FID	SchemaComplextime\ElementName
KML	Parameter	Parameter\FID	ParameterName
NetCDF	Group	No aplica	Group\AttributeName
HDF	Root Group	No aplica	Root Group\Group\DatasetName
Formato	Propiedad geométrica	Coordenadas geográficas	
XML	Feature\Geometry Property	Feature\CoordinatesX	Feature\CoordinatesY
GML	Schema\Geometry Property	Schema\CoordinatesX	Schema\CoordinatesY
KML	Parameter\GeometryProperty	Parameter\CoordinatesX	Parameter\CoordinatesY
NetCDF	No aplica	Group\AttributeName\List\Vector {x, y}	
HDF	No aplica	Root\Group\Dataset\Dataspac\Attribute\Matriz {x, y}	
Formato	Campo de asignación del tiempo de toma del dato		
XML	Feature\Variable\Parameter\Data\Time		
GML	Schema\Complextime\Element\Data\Fecha Schema\Complextime\Element\Data\Hora		
KML	Parameter\Data\Fecha Parameter\Data\Hora		
NetCDF	Group\AttributeName\List\Fecha Group\AttributeName\List\Hora		
HDF	Root Group\DimensionName Root Group\Dimension\Primitive Type (Unlimited or limited) Root Group\Group\Dataset\Dataspac\Attribute\Matriz {fecha, hora}		
Formato	Campo con la información asociada		
XML	Feature\Variable\ParameterName Feature\Variable\ParameterUnit Feature\Variable\ParameterWodata Feature\Variable\Parameter\Statistics (average or sum) Feature\Variable\Parameter\Data\Value		
GML	Schema\Complextime\Element\Data"Nombre del campo"		
	Se puede presentar que existen varios campos y se indica cada uno de ellos; p.e. Temperatura, Oxígeno, pH, DBO5 con sus respectivos valores.		
KML	Parameter\Data"Nombre del campo"		
	Se puede presentar que existen varios campos y se indica cada uno de ellos; p.e. Temperatura, Oxígeno, pH, DBO5 con sus respectivos valores.		
	Parameter\Data\Type (table, arraysimple or arraycomplex)		
NetCDF	Root Group\VariableName Root Group\Variable\Primitive Type (Char, byte, short, float, double, string, date) Root Group\Variable\Length Root Group\Variable\Unit Root Group\Variable\List"Nombre del campo"		
	Se puede presentar que existen varios campos y se indica cada uno de ellos; p.e. Temperatura, Oxígeno, pH, DBO5 con sus respectivos valores.		
	Root Group\Variable\List\Datatype (Data, matriz or vector)		
HDF	Root Group\Group\Dataset\Datatype\Datatype Class (integer, float or char) Root Group\Group\Dataset\Datatype\size (bits) (Default, native, 8, 16, 32, 64) Root Group\Group\Dataset\Datatype\Byte ordering (Default, native, little endian, big endian) Root Group\Group\Dataset\Dataspac\Attribute\row Root Group\Group\Dataset\Dataspac\Attribute\column Root Group\Group\Dataset\Dataspac\Attribute\value		

Tabla 2. Elementos no comunes de los estándares de datos espacio-temporales

Formato	Descripción
NetCDF	No tiene elemento identificador del elemento. La información se asocia con la lista de atributos para representar los datos. No tiene información asociada con el tipo de geometría (property geometry) a representar, por ser un elemento raster. No contiene información asociada con el tipo de elemento geográfico, p.e. punto, línea, polígono, curva o superficie, por ser un formato raster.
HDF	No tiene elemento identificador del elemento. La información se asocia con el número de la fila y columna para identificar el valor. No tiene información asociada con el tipo de geometría (property geometry) a representar por ser un elemento raster. No contiene información asociada con el tipo de elemento geográfico, p.e. punto, línea, polígono, curva o superficie, por ser un formato raster. Contiene información adicional a la presentada principalmente en los otros formatos y que es importante para el formato: Root Group\AttributeName Root Group\Attribute\Type Root Group\GroupName Root Group\Group\Parent Root Group\Group\Type Root Group\Group\Dataset\Dataspac\No of Dimension Root Group\Group\Dataset\Dataspac\Current size

5. VALIDACIÓN

5.1. Esquemas preconceptuales ejecutables

En esta sección se presenta la validación de las propuestas de esquema preconceptual ejecutable que se proponen en este artículo para cinco estándares de datos espacio-temporales. El caso de estudio es una serie de tiempo de calidad de agua en tres puntos diferentes de la ciudad de Medellín (Véase la Tabla 3), la cual se representa en los cinco estándares de datos espacio-temporales (XML, KML, GML, NetCDF y HDF). Los datos se relacionan con: temperatura, pH, oxígeno disuelto y DBO5 de calidad del agua del Río Medellín. La fecha de toma de los datos es el 6 de marzo de 2007, en intervalos de tiempo de 30 minutos entre las 6:00 hasta las 18:00 horas. Los datos utilizados se tomaron de las bases de datos suministradas en la página web de la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (www.corantioquia.gov.co).

Tabla 3. Ubicación geográfica de muestras de Calidad de Agua

Nombre	Coordenada X	Coordenada Y
Aula Ambiental	-75,5724	6,2641
Puente Guayaquil	-75,5757	6,2339
Poblado	-75,5780	6,2135

En las Figuras 16, 17, 18, 19 y 20 se presentan los esquemas preconceptuales ejecutables asociados con las estaciones de toma de datos de calidad del agua, en los formatos XML, GML, KML, NetCDF y HDF, respectivamente. Dada la gran cantidad de datos, en las tablas que se incluyen en cada Figura sólo se muestran algunos de los datos correspondientes. Los datos restantes cumplen con las mismas características. Cada concepto hoja representa sólo un valor de los que se incluyen en las tablas.

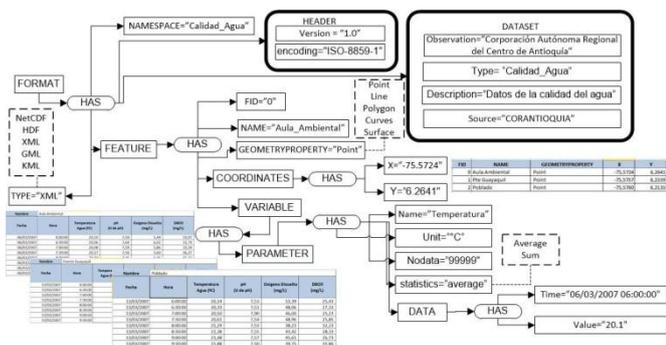


Fig. 16. Esquema preconceptual ejecutable de Estaciones de Calidad del Agua en XML. Elaboración propia

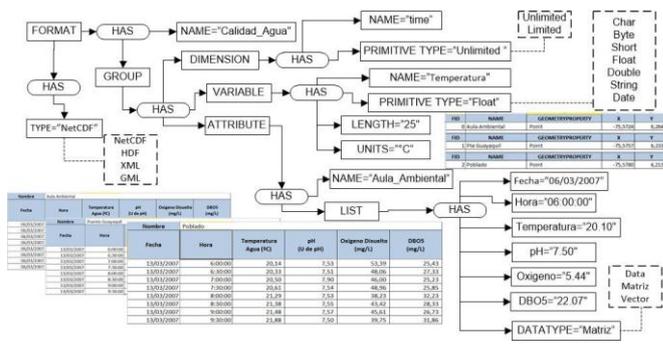


Fig. 19. Esquema preconceptual ejecutable de Estaciones de Calidad del Agua en NetCDF. Elaboración propia

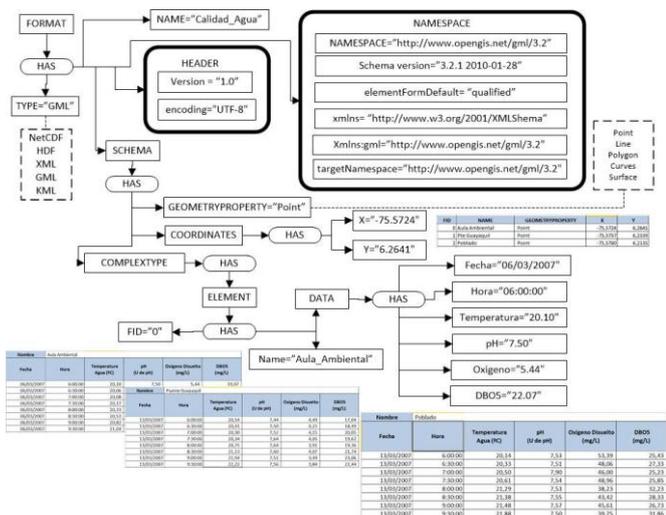


Fig. 17. Esquema preconceptual ejecutable de Estaciones de Calidad del Agua en GML. Elaboración propia

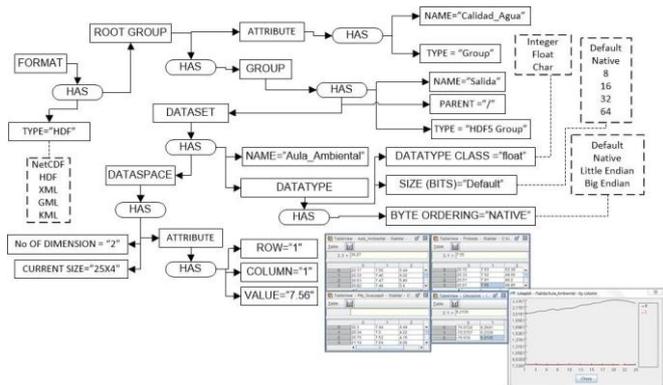


Fig. 20. Esquema preconceptual ejecutable de Estaciones de Calidad del Agua en HDF. Elaboración propia

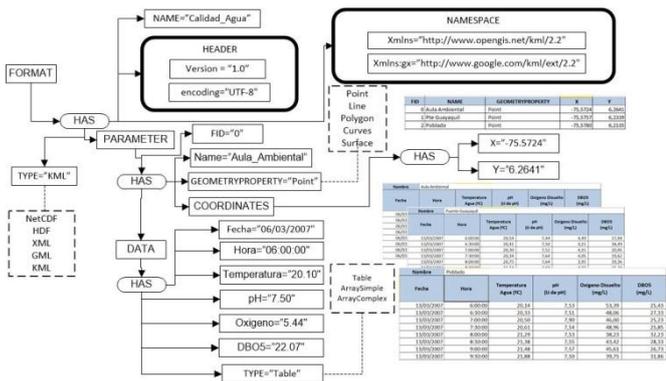


Fig. 18. Esquema preconceptual ejecutable de Estaciones de Calidad del Agua en KML. Elaboración propia

5.2. Aplicaciones de software SIG utilizadas

Para la realización de los archivos en los cinco formatos de datos espacio-temporales, se utilizan algunas herramientas que permiten editar, modificar y visualizar la información asociada con los archivos de datos. Para la visualización del contenido de los archivos generados se utilizan las siguientes aplicaciones de software:

- Notepad++: es un programa que permite visualizar y editar la información contenida en los archivos como formato de texto.
- Microsoft Internet Explorer: es un navegador web que desarrolló Microsoft para el sistema operativo Microsoft Windows, se emplea para visualizar los datos del formato XML
- gvSIG Desktop: permite acceder a información geográfica en formato vector y raster. La principal característica de esta aplicación respecto de otros SIG es que cumple con las especificaciones del OGC. Se desarrolló en lenguaje de programación Java, funciona bajo sistemas operativos de Windows, Linux y Mac OS X y utiliza bibliotecas estándar de varios SIG.
- Google Earth: es un programa informático similar a un SIG, que permite la visualización de imágenes del planeta, combinando imágenes de satélite y mapas. Google Earth permite visualizar imágenes a escala de un lugar específico del planeta. Se utiliza para la visualización de los datos en formato KML.
- HDFView: se diseñó como una herramienta para la navegación y edición de archivos HDF4 y HDF5. La importancia de esta herramienta radica en la visualización jerárquica de los archivos en estructura de árbol, la creación de nuevos archivos y la agregación o eliminación de grupos y conjuntos de datos y atributos. Se utiliza para la visualización de los archivos HDF.

En las Figuras 21, 22, 23, 24, 25 y 26 se pueden observar las imágenes de los cinco formatos de datos espacio-temporales con la misma información, pero se utilizan diferentes herramientas para la visualización de los datos.

6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El uso de los Sistemas de Información Geográfica constituye una herramienta de ayuda para el análisis de datos espaciales. La caracterización de la información geográfica es una necesidad de las comunidades SIG, especialmente para el intercambio de grandes cantidades de información adquirida durante el tiempo. En este artículo se propuso la representación de esta información en cinco estándares de datos espacio-temporales para el intercambio de información para SIG, a saber: XML, GML, KML, NetCDF y HDF.

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<DataSet observations="Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia" type="Calidad_Agua" source="CORANTIOQUIA">
  <Layer_0 fid="0">
    <name>Aula_Ambiental</name>
    <geometryProperty>
      <Point>
        <coordinates>-75.5724,6.2641,0</coordinates>
      </Point>
    </geometryProperty>
    <variable>
      <index statistics="average" nodata="99999" units="°C" name="Temperatura">
        <data value="20.1" time="06/03/2007 06:00:00"/>
        <data value="20.06" time="06/03/2007 06:30:00"/>
        <data value="20.09" time="06/03/2007 07:00:00"/>
        <data value="20.17" time="06/03/2007 07:30:00"/>
        <data value="20.33" time="06/03/2007 08:00:00"/>
        <data value="20.53" time="06/03/2007 08:30:00"/>
        <data value="20.82" time="06/03/2007 09:00:00"/>
        <data value="21.04" time="06/03/2007 09:30:00"/>
        <data value="21.36" time="06/03/2007 10:00:00"/>
        <data value="21.53" time="06/03/2007 10:30:00"/>
        <data value="21.56" time="06/03/2007 11:00:00"/>
        <data value="21.78" time="06/03/2007 11:30:00"/>
        <data value="22.31" time="06/03/2007 12:00:00"/>
        <data value="22.56" time="06/03/2007 13:00:00"/>
        <data value="22.94" time="06/03/2007 14:00:00"/>
        <data value="23.26" time="06/03/2007 14:30:00"/>
        <data value="23.52" time="06/03/2007 15:00:00"/>
        <data value="23.64" time="06/03/2007 15:30:00"/>
        <data value="23.69" time="06/03/2007 16:00:00"/>
        <data value="23.55" time="06/03/2007 16:30:00"/>
        <data value="23.44" time="06/03/2007 17:00:00"/>
        <data value="23.15" time="06/03/2007 17:30:00"/>
        <data value="22.86" time="06/03/2007 18:00:00"/>
      </index>
      <index statistics="average" nodata="99999" units="unidades_pH" name="pH">
      <index statistics="average" nodata="99999" units="mg/L" name="Oxigeno Disuelto">
      <index statistics="average" nodata="99999" units="mg/l O2" name="DBO5">
    </variable>
  </Layer_0>
</Layer_0 fid="1">
</Layer_0 fid="2">
</DataSet>
```

Fig. 21. Visualización de información de estaciones de Calidad del Agua en Internet Explorer para XML. Elaboración Propia

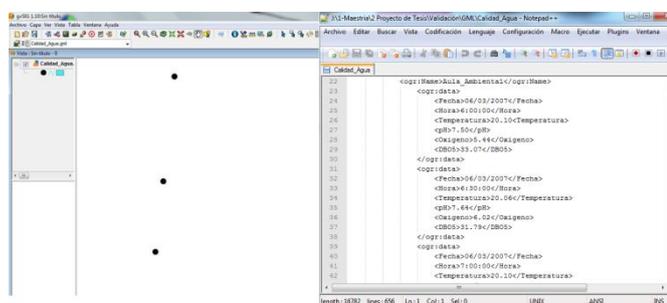


Fig. 22. Visualización de información de estaciones de Calidad del Agua en gvSIG y Notepad++ para GML. Elaboración Propia

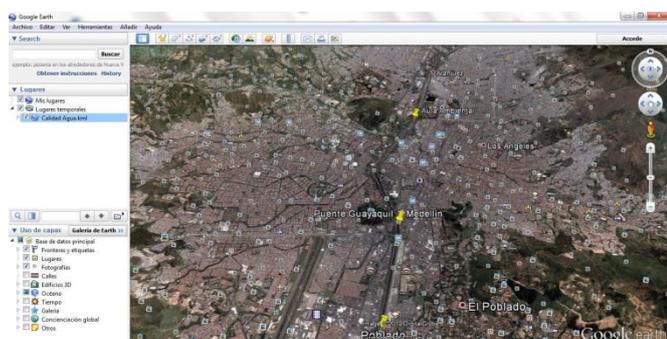


Fig. 23. Visualización de información de estaciones de Calidad del Agua en Google Earth para KML. Elaboración Propia

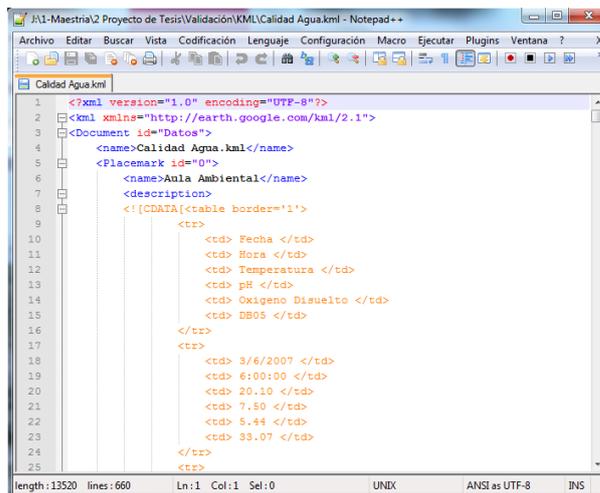


Fig. 24. Visualización de información de estaciones de Calidad del Agua en Notepad++ para KML. Elaboración Propia

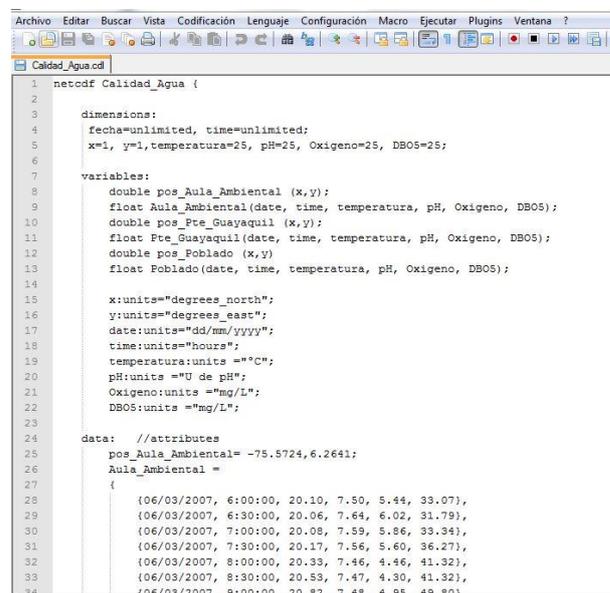


Fig. 25. Visualización de información de estaciones de Calidad del Agua en Notepad++ para NetCDF. Elaboración Propia

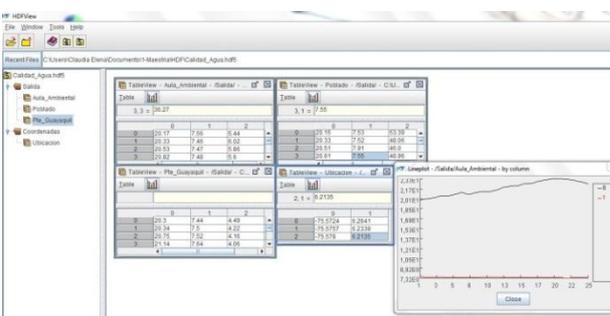


Fig. 26. Visualización de información de estaciones de Calidad del Agua HDFView para HDF. Elaboración Propia

Para demostrar que con la caracterización de datos espacio-temporales, se puede mejorar la interoperabilidad entre formatos y herramientas SIG, se modelaron los elementos principales de los formatos de datos espacio-temporales (XML, GML, KML, NetCDF y HDF) utilizando esquemas preconceptuales ejecutables.

Para la validación del modelo se localizaron tres estaciones de toma de información de calidad del agua sobre el Río Medellín. A estos puntos georreferenciados se les asignó información de cambios de temperatura, pH, Oxígeno Disuelto y DBO5, durante diferentes horas en un día específico del año. Con los datos obtenidos se generaron las tablas de información y se ubicaron geográficamente las estaciones de toma de datos. Las características principales de los formatos y los datos asociados se modelaron utilizando esquemas preconceptuales ejecutables. En dichos esquemas se observó el comportamiento de los elementos principales de los formatos, para la misma información espacial y no espacial de los cinco formatos de estudio. Se elaboraron los diferentes archivos de datos y mapas para el área de estudio para cada uno de los formatos de datos espacio-temporales

Como resultado, se observa que la caracterización de los formatos de datos espacio-temporales permite intercambiar grandes cantidades de información de manera rápida, ordenada y efectiva. Esto constituye una herramienta de apoyo para la interoperabilidad de la información geográfica entre estándares de datos espacio-temporales como: XML, GML, KML, NetCDF y HDF. Además, los esquemas preconceptuales ejecutables que se generaron en este artículo permiten una comunicación directa con los usuarios de los SIC sin que se requiera para ello un conocimiento técnico avanzado en modelado.

La metodología de trabajo permitió alcanzar el objetivo propuesto de mejorar la interoperabilidad de los datos espacio-temporales mediante la caracterización de los datos representados en distintos estándares SIG, entendiendo la dinámica de los datos espacio-temporales.

Algunas líneas de trabajo que se pueden abordar a partir de los resultados de este artículo son las siguientes:

- Caracterización otros estándares de almacenamiento de los datos espaciales como el *shapefile*, formato universal de Sistemas de Información Geográfica.
- Generación de un *script* que permita ingresar un archivo en cualquiera de estos formatos y se pueda convertir a cualquiera de los otros formatos de datos espacio-temporales.
- Análisis de las dificultades y potencialidades de la representación gráfica de los datos espacio-temporales luego de convertir un formato a otro.

REFERENCIAS

- [1] L. D. Murphy, "Geographic information systems: are they decision support systems?". Proceedings of the 28th International Conference on System Sciences, vol. 4, pp. 131–140, 1995, Hawaii.
- [2] M. J. Rodríguez, A. Zambrana and M. A. Bernabé, "Diseño de herramientas de análisis espacio-temporal para el estudio de bases de datos históricas", VI Jornadas Técnicas de la IDE de España, 2009.
- [3] R. Tomlinson, "Pensando en el SIG: Planificación del Sistema de Información Geográfica Dirigida a Gerentes", Tercera Edición. 2007, p. 257.
- [4] A. Moreno, R. Cañada Torrecillas, B. Cervera Cruaños, F. Fernández García, and N. Gómez García, "Sistemas y análisis de la información geográficaW, Primera. 2006", p. 870.
- [5] W. Shuo, K. Nakayama, Y. Kobayashi, and M. Maekawa, "Considering events and processes within GIS: an event-based spatiotemporal data model," IEEE International Symposium on Communications and Information Technology, ISCIT 2004. vol. 2, pp. 770–773, 2004, Sapporo.
- [6] H. Yongqi and D. Gaoyan, "Research on Representation of Geographic Spatio-temporal Information and Spatio-temporal Reasoning Rules Based on Geo-ontology and SWRL," International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, ESIAT 2009. vol. 3, pp. 381–384, 2009, Minneapolis.
- [7] R. Rew and G. Davis, "NetCDF: an interface for scientific data access," IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 10, No. 4, pp. 76–82, July 1990.
- [8] M. Palomo, S. Ormeño and J. Rincón, "El formato HDF: Un modelo de datos para el almacenamiento y gestión de información espacial de carácter," Congreso Nacional de Medio Ambiente en España. CONAMA 2010, p. 11, 2010.
- [9] R. Suresh, P. Shukla, and G. Schwenke, "XML-based data systems for Earth science applications," IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing 2000, vol. 3, pp. 1214–1216, 2000, London.
- [10] D. R. Martin, J. Ulmer, and J. Boyd, "Time-Series Data Exchange Using the Geography Markup Language," Conferencing on OCEANS 2007, pp. 1–7, 2007, Vancouver.
- [11] Y. Du, C. Yu, and J. Liu, "A Study of GIS Development Based on KML and Google Earth," 2009 5th International Joint Conference on INC, IMS and IDC, pp. 1581–1585, 2009.
- [12] C. M. Zapata, G. L. Giraldo, and S. Londoño, "Esquemas preconceptuales ejecutables," Revista Avances en Sistemas e Informática, Vol. 8, No. 1, pág. 16-22, 2011.
- [13] W. Shuo, K. Nakayama, Y. Kobayashi, and M. Maekawa, "A data schema and its query for modeling dynamic geographical world," IEEE International Symposium on Communications and Information Technology. ISCIT 2005, Vol. 1, pp. 632–635, 2005, Beijing.
- [14] J. Deng and X. Zheng, "Design and construction of spatial database for internal elements of urban based on TGIS," 18th International Conference on Geoinformatics, pp. 1–6, 2010, Beijing.
- [15] W3C, "World Wide Web Consortium," Online [May. 2012].
- [16] OGC, "Open Geospatial Consortium," Online [March. 2012].
- [17] C. Zapata, F. Toro, and M. Marín, "Definición de un Método Basado en Patrones de Análisis para la Interoperabilidad entre Sistemas de Información Geográfica," Revista EIA, No 18, pp. 179-194, Diciembre 2012.
- [18] Google Developers. [Online]. Available: <http://developers.google.com/kml>, 2012.
- [19] UIC. University of Illinois at Urbana-Champaign. [Online]. Available: <http://www.uic.edu/>, 2012.
- [20] UNIDATA. [Online]. Available: www.unidata.ucar.edu, 2012.
- [21] M. Balazinska and Co-Authors, "Data Management in the Worldwide Sensor Web," Pervasive Computing, Vol. 6, No. 2, pp. 30-40, 2007.
- [22] J. Blower, and Co-Authors. "Ocean Data Dissemination: New Challenges for Data Integration" in Proceedings of Ocean Obs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 1), Venice.