

# CARACTERIZACIÓN DE FORMATOS DE ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y VISUALIZACIÓN DE DATOS GEOGRÁFICOS

## CHARACTERIZATION OF STORAGE, TRANSPORT AND VISUALIZATION OF GEOGRAPHIC DATA FORMATS

**Darío Enrique Soto-Durán, PhD. (C)**

*Grupo de Investigación GIISTA  
Tecnológico de Antioquia  
Medellín, Colombia  
dsoto@tdea.edu.co*

**María Isabel Marín-Morales, MSc.**

*Grupo de Investigación GIISTA  
Tecnológico de Antioquia  
Medellín, Colombia  
mariaimarinm@gmail.com*

**Fabio Alberto Vargas-Agudelo, MSc.**

*Grupo de Investigación GIISTA  
Tecnológico de Antioquia  
Medellín, Colombia  
fvargas@tdea.edu.co*

(Recibido el 07-04-2014. Aprobado el 10-05-2014)

**Resumen.** La información geográfica se caracteriza por tener una componente espacial y, en muchas ocasiones, adicionalmente una componente temporal. En la última década el uso de esta información se incrementó por la expansión de las tecnologías que la capturan. En especial, las ciencias de la tierra, el océano y la atmósfera requieren del análisis de la información que varía en el espacio y en el tiempo para tomar decisiones. Los datos espacio-temporales son gestionados por Sistemas de Información Geográfica (SIG) que definen formatos para su almacenamiento, transporte y visualización. El Open Geospatial Consortium es una de las principales organizaciones que definen estándares para estos formatos; sin embargo, existen otros también ampliamente usados. Conocer los diferentes formatos existentes, los elementos que los componen y los ambientes y situaciones para los que fueron creados es de suma trascendencia cuando se ha de decidirse por uno u otro en favor de la eficiencia y optimización de su uso en los SIG. Por lo anterior, este artículo hace una caracterización de los formatos más relevantes para el almacenamiento, transporte y visualización de los datos geográficos: vector, raster y series de datos, mediante esquemas preconceptuales que permiten identificar las relaciones estructurales y dinámicas de cualquier dominio del conocimiento.

**Palabras clave:** Esquemas preconceptuales; Formato raster; Formato vectorial; Series temporales de datos; Sistema de Información Geográfica.

**Abstract.** Geographic information is characterized by a spatial component and often an additional temporal component. In the last decade the use of that information has increased due to the expansion of technologies that capture it. In particular, earth, ocean and atmosphere sciences, requires analysis of the information that varies in space and time to make decisions. The spatio-temporal data are managed by Geographic Information Systems (GIS) that define formats for storage, transport and display them. The Open Geospatial Consortium is one of the leading organizations define standards for these formats, but there are also other widely used. Know the different formats available, the component elements and environments and situations for which they were created is of great importance when deciding on one or the other for efficiency and optimization of its use in GIS. Therefore, this article gives a characterization of the relevant formats for storage, transport and display of geographic data: vector, raster and data sets, using pre-conceptual schemes that allow identifying the structural and dynamic relations in any domain of knowledge.

**Keywords:** Pre-conceptual schemes; Raster data model; Vector data model; Time series; Geographic Information System.

## 1. INTRODUCCIÓN

Existe gran variedad de mecanismos para la adquisición de datos geográficos. Los sistemas digitales de obtención de datos, los sistemas de posicionamiento global, los sensores remotos y la simulación computacional son algunos ejemplos de ello. La información recopilada y su disposición a través de servidores, como es el caso de la familia de satélites *LanSat*, facilitan y masifican el uso de los datos geográficos en el proceso de toma de decisiones en empresas y corporaciones de diversos dominios del conocimiento [1].

Los datos geográficos son, por definición, información que varía en el espacio terrestre, es decir, que tienen asociada una coordenada geográfica que determina el lugar preciso que el dato representa en términos de elevación, temperatura, velocidad del viento, etc. A su vez, esta información suele registrarse en el tiempo con cierta regularidad. En algunas ocasiones se realiza con una resolución temporal definida y en otras se lleva a cabo eventualmente [2].

Las ciencias de la Tierra constituyen una herramienta para planificar una explotación racional de los recursos naturales, comprender las causas que originan los fenómenos naturales que afectan al ser humano y cómo el ser humano influye en la naturaleza con sus acciones. Por otro lado, son el medio para entender procesos naturales que amenazan la vida del hombre y su estudio está ligado con la prevención de riesgos sísmicos, meteorológicos y volcánicos en los ámbitos continental, oceánico y atmosférico. Lo anterior se logra mediante el estudio de los fenómenos, tanto en términos de su ubicación espacial como en su variación con el paso del tiempo. Las disciplinas de las ciencias de la Tierra requieren del análisis de datos espacio-temporales para llevar a cabo la toma de decisiones [3].

Los datos espacio-temporales se gestionan principalmente con Sistemas de Información Geográfica (SIG). Un SIG puede reconocer y analizar las relaciones espaciales que existen en la información geográfica almacenada. Estas relaciones topológicas permiten crear modelos y análisis espaciales complejos. Adicionalmente, un SIG puede estar destinado al análisis de rutas, geo-estadística, álgebra de mapas, entre otros, con el uso de datos espacio-temporales [2].

La lectura, escritura, transporte y visualización de los datos espacio-temporales requieren de formatos que facilitan este proceso. La mayoría de los SIG soportan una amplia gama de formatos, algunos de estos son ESRI Shapefile, ESRI Raster y NetCDF. El *Open Geospatial Consortium* (OGC) es una de las principales organizaciones que definen estándares para estos formatos. *Geographic Markup Language* (GML), *Keyhole Markup Language* (KML) que se usan para el despliegue de datos en dos y tres dimensiones, respectivamente [4].

El amplio abanico de formatos existentes para la gestión de los datos espacio-temporales deja sobre la mesa la decisión de elegir uno. Para ello, es pertinente conocerlos para optimizar su uso en tiempos de ejecución, espacio de almacenamiento y capacidad de expresión, entre otros.

Si se parte de esta necesidad identificada es preciso analizar los diferentes formatos y que sea claro para los usuarios su composición estructural y su dinámica; la fortaleza de cada uno en términos de uso para transporte, almacenamiento o visualización; su principal aplicación, ya sea para web o SIG o si es ideal para gestionar formatos vector, raster o series de datos. Para responder a estas preguntas, este artículo presenta una caracterización de los formatos utilizados en la gestión de datos espacio-temporales en los SIG, específicamente en formatos de almacenamiento de modelos *raster*, *vector* y, adicionalmente, series de datos. La caracterización muestra los elementos de cada formato y las situaciones y ambientes que los potencializa, mediante esquemas preconceptuales (EP). Los EP permiten identificar las relaciones estructurales y dinámicas de cualquier ámbito o dominio del conocimiento [5].

El artículo está conformado de la siguiente manera: en la sección 1 se define el marco teórico que expone la definición de datos geográficos, específicamente los concernientes a los modelos *vector*, *raster* y series de datos, además, en esta sección se introducen los esquemas preconceptuales; en la sección 2 se presenta la caracterización de los formatos de almacenamiento de los datos espacio-temporales mediante esquemas preconceptuales; en la sección 3 se realiza una discusión sobre los formatos recomendados y se sintetiza; y en la sección 4 se hacen las conclusiones y el trabajo futuro.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Datos geográficos

La información geográfica (IG) posee una localización implícita (la población de un lugar censado, una referencia catastral, etc.) o explícita (coordenadas obtenidas a partir de datos capturados mediante GPS, etc.) respecto a la Tierra [2].

La información geográfica se gestiona en los SIG con los modelos de datos *raster* y *vector* y, eventualmente, con la asociación de estos modelos a series de datos.

El modelo de datos *raster* está diseñado para la gestión de la información continua en el espacio como elevación y precipitación. Este modelo se representa mediante una matriz de datos en la que cada celda corresponde a una región geográfica. El tamaño de las celdas se denomina resolución espacial y determina la precisión de la información almacenada en una capa de datos *raster*. Así, a medida que es mayor la resolución espacial, la precisión disminuye, pues el valor de cada celda debe ser representativo de un área mayor [6].

El modelo de datos *vector* gestiona la información discreta en el espacio como las calles, las casas, los ríos, etc. Representa los datos y se basa en tres primitivas geométricas: el punto, la línea y el polígono. Una capa de datos *vector* se denomina *shapfile* y cada uno de sus elementos se denominan *shapes* (por ejemplo el conjunto de casas del centro de Medellín es un *shapfile* y cada casa es un *shape*). La información asociada con cada *shape* se almacena en la fila de una tabla de atributos. Los campos de la tabla de atributos son definidos por el interesado (por ejemplo propietario, número telefónico, estrato, etc.) [6].

Los SIG incorporan series de datos asociadas con los objetos *vector* y *raster*. Generalmente, estas series corresponden a series de tiempo y a perfiles verticales de medición. En el primer caso, pueden contener información con una resolución temporal definida o eventual. Los perfiles verticales de medición son muestreos obtenidos en la columna de aire o de agua [7].

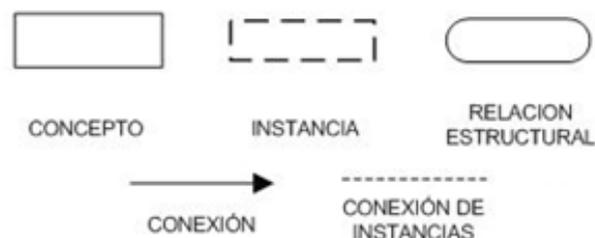


Figura 1. Algunos elementos del esquema preconceptual

Fuente: Compendio de los trabajos [5] y [8].

### 2.2. Esquemas preconceptuales

Los esquemas preconceptuales son representaciones intermedias entre las especificaciones textuales en lenguaje natural de cualquier dominio del conocimiento y los diferentes esquemas conceptuales que permiten el modelado de una pieza de software. Estos esquemas representan las relaciones estructurales y dinámicas del dominio [5]. En la Figura 1 se presentan los elementos de los esquemas preconceptuales que serán utilizados en este artículo, cuyos significados son los siguientes:

- Los conceptos representan los sustantivos del dominio.
- Las instancias son conjuntos de valores que pueden tomar un concepto y que sirven para aclararlo. Los valores que se presentan en las instancias no son necesariamente todos los posibles valores que puede tomar el concepto, algunos se excluyen.
- Las relaciones estructurales definen relaciones permanentes entre dos conceptos con el uso de los verbos “ser” y “tener”.
- Las conexiones son vínculos entre conceptos y relaciones estructurales o viceversa.
- Las conexiones de instancias permiten ligar un conjunto de instancias con el concepto del que son valores.

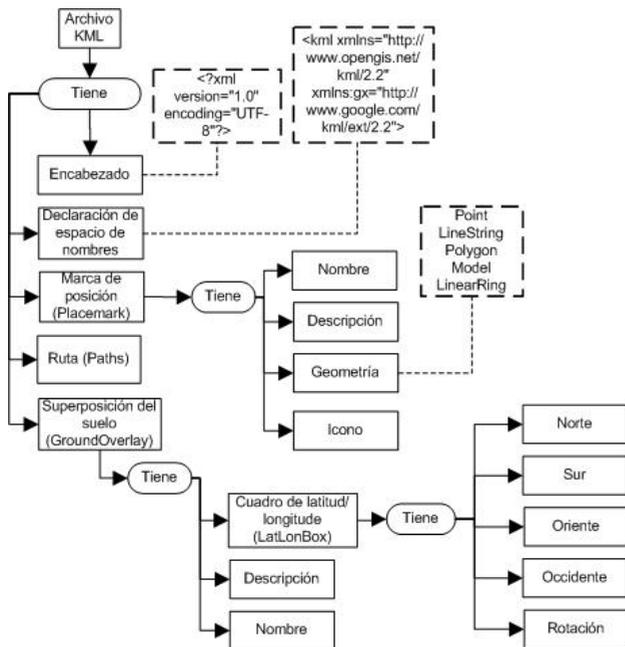


Figura 2. Resumen del formato KML mediante un esquema preconceptual.

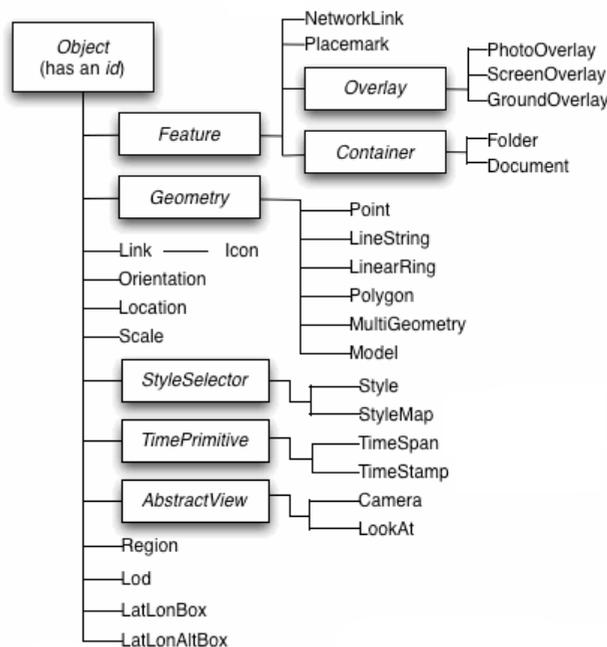


Figura 3. Árbol de clases del formato KML.

Fuente: tomado del KML Reference [10].

### 3. CARACTERIZACIÓN DE FORMATOS DE ALMACENAMIENTO

En la caracterización realizada se incluyeron los formatos de almacenamiento, transporte y visualización más relevantes en el dominio de los SIG, específicamente sobre los modelos de dato *vector* y *raster* y, adicionalmente, sobre la gestión de series de datos. La caracterización se llevó a cabo a través de la definición y descripción básica de cada formato y la síntesis de los elementos principales de cada uno mediante un esquema preconceptual para facilitar la comprensión.

#### 3.1. KML: Keyhole Markup Language

KML es un formato de archivo que se usa para mostrar información geográfica en globos terrestres como Google Earth y Google Maps. Utiliza una estructura de etiquetas con atributos y elementos anidados, que se basa en el estándar XML. Fue desarrollado por Google y hace parte del conjunto de estándares del OGC. Incluye las siguientes partes: 1) el encabezado XML, 2) la definición del espacio de nombres del KML y 3) el objeto de la indicación geográfica, que puede ser una marca de posición o una ruta [9].

En la Figura 2 se muestra una representación gráfica con esquemas preconceptuales de los elementos fundamentales del formato. Además, en la Figura 3 se observa el árbol de clases de varios elementos KML. Los elementos abstractos (que aparecen en cuadros en el diagrama) no se usan realmente en los archivos KML, son útiles para que un único elemento sirva como base para la programación de varios elementos similares derivados (aunque sean diferentes). Un archivo KML puede ser creado directamente en un editor de texto o a través de Google Earth. La primera opción permite enriquecer las funciones del formato; sin embargo, la segunda opción proporciona una interfaz gráfica que hace más fácil e intuitivo el proceso de crear y editar un archivo KML.

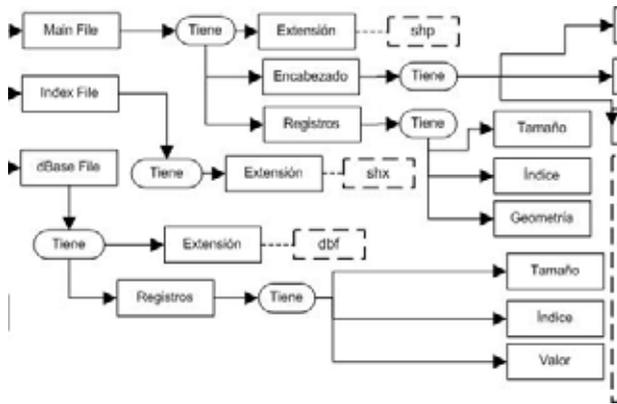


Figura 4. Resumen del formato ESRI Shapefile mediante un esquema preconceptual.

### 3.2. ESRI Shapefile

ESRI Shapefile es un formato estándar de facto desarrollado por el *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). Almacena geometrías e información de atributos para las características espaciales. Es recomendado para mapas medianos y pequeños. Un *Shapefile* consiste de tres partes de datos: un archivo principal (.shp), un archivo de índices (.shx) y una tabla dBASE (.dbf). Los *shapefiles* soportan una gran variedad de tipos de geometría (por ejemplo *Point*, *Line*, etc.); sin embargo, en un mismo *shapefile* sólo pueden existir elementos de un mismo tipo. Los medios para crear un *shapefile* son: a) directamente sobre programas que los soporta como ArcGIS [11], MapWindow [12], entre otros; b) exportar a partir de otros formatos; c) digitalizar mapas con el uso de herramientas CAD; y d) desde las API proporcionadas por ArcInfo, MapWindow, entre otros [13]. En la Figura 4 se presenta la estructura general de un ESRI *Shapefile*.

### 3.3. ESRI Grid

Un ESRI Grid es un formato de archivo para el modelo de datos *raster* que cuenta con dos subformatos: 1) un formato binario propietario, también conocido como un ARC/INFO GRID, o ARC GRID en otros casos, y 2) un formato ASCII no propietario, también conocido como un ARC/INFO ASCII GRID. El formato binario es usado dentro de los programas ESRI como ArcGIS. Por otro lado, el formato ASCII es utilizado para el intercambio de datos por su estructura simple y portable. El *grid* define el espacio geográfico como un rectángulo de datos en una matriz de posiciones geográficas. El formato está estructurado así: las seis primeras líneas indican los metadatos

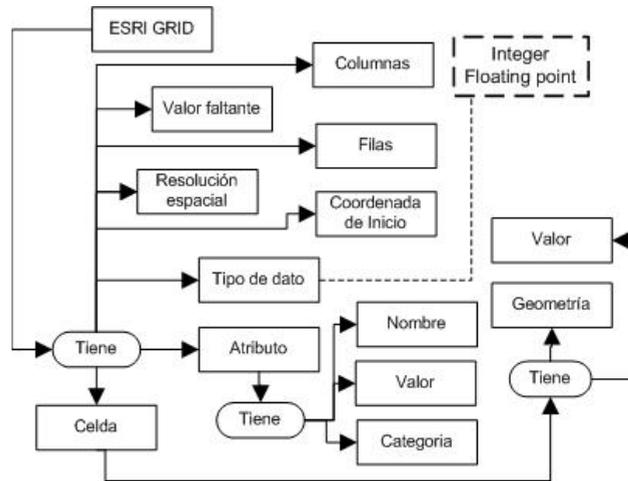


Figura 5. Resumen del formato ESRI Grid mediante un esquema preconceptual.

de los valores de la matriz seguidas por el conjunto de datos. Los metadatos indican el número de filas, columnas, la resolución espacial, el valor faltante y el punto de inicio de pintado del mapa. En la Figura 5 se resumen los conceptos del formato.

### 3.4. GML: Geography Markup Language

GML es una gramática XML definida por el OGC para expresar características geográficas. Sirve como un lenguaje de modelado para sistemas geográficos así como un formato de intercambio para transacciones geográficas, especialmente en la red. Permite almacenar objetos vector, coberturas y datos de sensores remotos. Es posible definir restricciones lógicas para GML mediante perfiles. Los perfiles se especifican a través de documentos o esquemas XML y son un mecanismo para acotar el uso del formato.

Existen perfiles para los puntos, los polígonos, imágenes y otras características geográficas. GML es un formato de almacenamiento y transporte y para la visualización es necesario anexar un documento de estilo. Para esto se usa el W3C *Scalable Vector Graphics* (SVG), el *Microsoft Vector Markup Language* (VML) y formatos de almacenamiento de imágenes como png, gif, jpeg y pdf [14]. En la Figura 6 se presenta un resumen de los elementos más relevantes de la especificación del GML dada en el estándar.

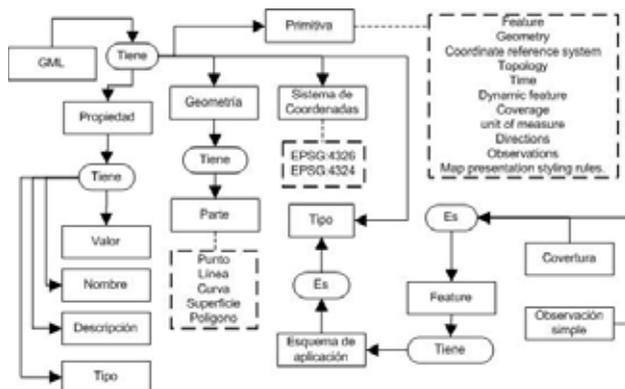


Figura 6. Resumen de la especificación GML mediante un esquema preconceptual.

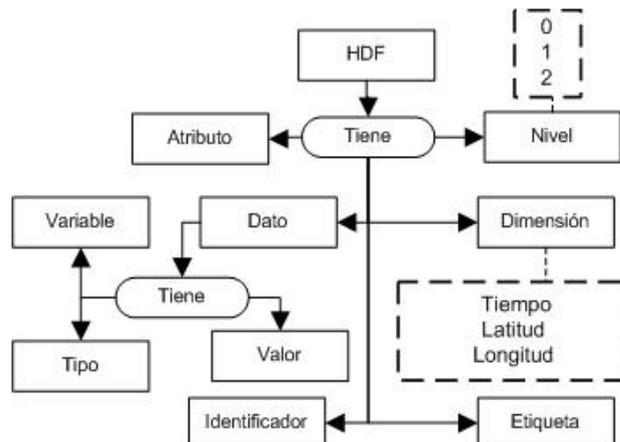


Figura 8. Formato de almacenamiento y transporte HDF.

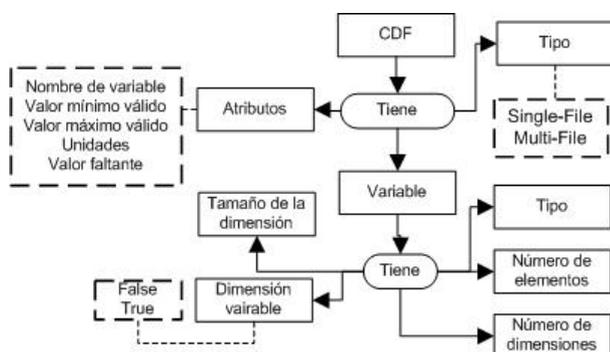


Figura 7. Formato de almacenamiento y transporte CDF.

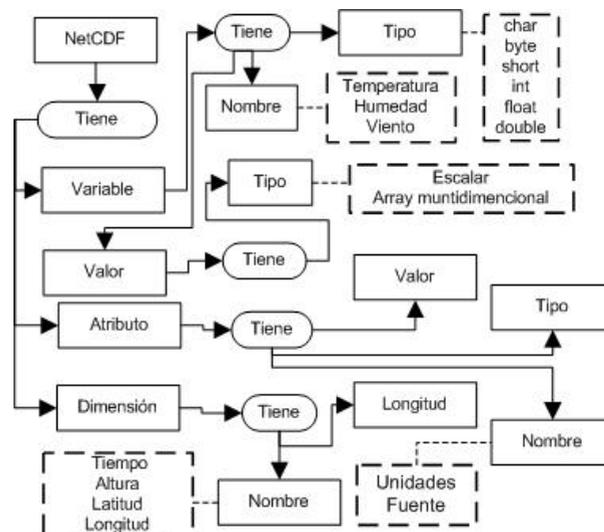


Figura 9. Formato de almacenamiento y transporte NetCDF.

### 3.5. CDF, HDF, NETCDF

Los formatos CDF (*Common Data Format*), HDF (*Hierarchical Data Format*) y NetCDF (*Network Common Data Form*) son formatos científicos para el almacenamiento, transporte y procesamiento de datos multidimensionales independientes del dominio. Son desarrollados y mantenidos por la NASA, la *National Center for Supercomputing Applications* (NCSA) de la *University of Illinois* y la *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), respectivamente.

Por tratarse de formatos binarios, su gestión está dada a través de las librerías que se crean para cada uno. En el caso de CDF, cuenta con implementaciones en C, Fortran, Java, Perl y C#; HDF en Java, Matlab, IDL y Python; y NetCDF en Java, Python y Matlab. Estos formatos son auto descriptivos porque tienen la capacidad para almacenar metadatos y atributos de los datos. HDF cuenta con las versiones HDF, HDF4 y HDF5. Por otro lado, NetCDF está basado en los modelos de datos CDF y HDF [15]. En la Figura 7, la Figura 8 y la Figura 9 se presenta un resumen de los tres modelos de datos, respectivamente.

**Tabla 1.** Resumen de los formatos revisados (parte 1)

Formato	Autor	Uso recomendado
KML	Google Ink	Modelos <i>vector</i> en la web.
ESRI Shapefile	ESRI	Modelos <i>vector</i> en SIG de escritorio.
ESRI Grid	ESRI	Modelos <i>raster</i> en SIG de escritorio.
GML	OGC	Modelos <i>raster</i> y <i>vector</i> en la web.
NetCDF	UCAR	Series de datos y modelos <i>raster</i> tanto en la web como SIG de escritorio.
CDF	NASA	Series de datos y modelos <i>raster</i> tanto en la web como SIG de escritorio.
HDF	NCSA	Series de datos y modelos <i>raster</i> tanto en la web como SIG de escritorio.

**Tabla 2.** Resumen de los formatos revisados (parte 2)

Formato	Algunos programas que lo soportan	Tipo de formato
KML	Google Earth, Google Maps, Microsoft Virtual Earth	Transporte y visualización.
ESRI Shapefile	ArcInfo, MapWindow, GvSIG, GeoDA	Almacenamiento, transporte y visualización.
ESRI Grid	ArcInfo, MapWindow, GvSIG	Almacenamiento, transporte y visualización.
GML	ArcInfo, Servicios Web WFS	Almacenamiento y transporte.
NetCDF	ArcInfo, Servicios Web OPeNDAP, Java, Python y Matlab.	Almacenamiento y transporte.
CDF	Servicios Web OPeNDAP, C, Fortran, Java, Perl y C#.	Almacenamiento y transporte.
HDF	Servicios Web OPeNDAP, Java, MATLAB, IDL y Python.	Almacenamiento y transporte.

#### 4. ANÁLISIS DE LA CARACTERIZACIÓN REALIZADA

Los formatos de transporte, almacenamiento y visualización de datos geográficos revisados se pueden reunir en tres grupos: a) para la gestión de modelos vector, b) para la gestión de modelos raster y c) para la gestión de series de datos.

KML y ESRI *Shapefile* son formatos recomendados exclusivamente para el primer grupo, aunque KML es mejor para el trabajo en red y ESRI *Shapefile* en SIG de escritorio. ESRI Grid está orientado básicamente para el trabajo con datos continuos en el espacio sobre modelos *raster*; sin embargo, en algunos casos y sobre algunos SIG que soportan la funcionalidad (por ejemplo ArcGIS) podrían usarse para representar información discreta (con el uso de número enteros). GML se presenta como una opción tanto para los modelos *vector* como para los *raster* en la web y, específicamente, a través de servicios web OGC como es el caso del WFS (*Web Feature Service*) [4]. Una de las ventajas de GML es que permite incluir el sistema de coordenadas en el mismo archivo, mientras que los otros formatos requieren de archivos auxiliares.

Por otro lado, los formatos CDF, HDF y NetCDF están pensados para almacenar y transportar paralelepípedos de datos que contienen múltiples dimensiones, incluidos el tiempo y las coordenadas

espaciales. De esta manera un corte transversal sobre los datos permite obtener un modelo *raster*, mientras que un corte longitudinal logra series de datos. La mayor fortaleza de estos tres formatos es la posibilidad de describir la información que contienen en términos de unidades de medida, fuente de obtención y todos los metadatos o atributos que el usuario requiera almacenar. Esto hace que los datos almacenados en CDF, HDF y NetCDF sean fáciles de interpretar. Además, estos formatos actualmente son utilizados a través de servicios OPeNDAP [16]; sin embargo, también cuentan con un amplio conjunto de librerías que facilitan su gestión. En la Tabla 1 y la Tabla 2 se presenta un resumen con algunos elementos adicionales de los formatos revisados.

Entre las características comunes de estos formatos se puede considerar la visualización o *renderizado* ya que este procedimiento se hace desde la aplicación cliente que soporta el formato del dato. Para ilustrar estas similitudes, desde la Figura 11 hasta la Figura 17 se muestran diferentes salidas de visualización de los formatos explorados.

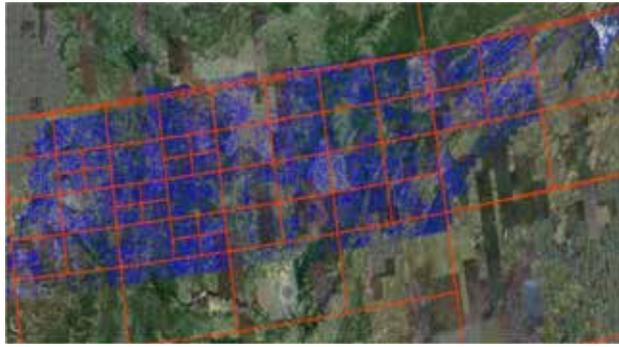


Figura 10. Despliegue y visualización a partir de un formato KML. Tomado de [17].

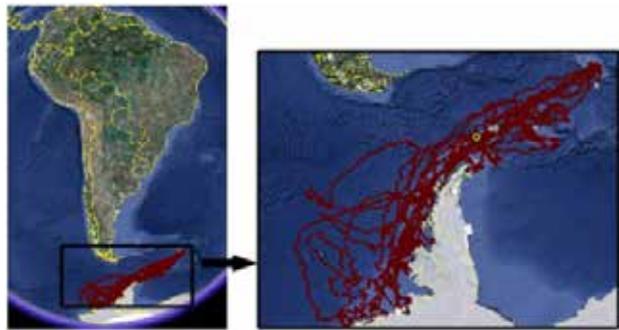


Figura 11. Despliegue y visualización a partir de un formato KML. Tomado de [18].



Figura 12. Despliegue y visualización a partir de un formato ESRI Shapefile. Tomado de [19].



Figura 13. Despliegue y visualización a partir de un formato ESRI Raster. Tomado de [20].



Figura 14. Despliegue y visualización a partir de un formato GML. Tomado de [21].

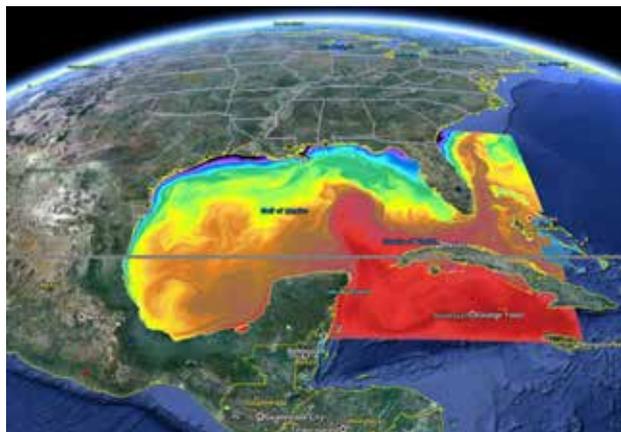


Figura 15. Despliegue y visualización a partir de un formato NetCDF. Tomado de [22].

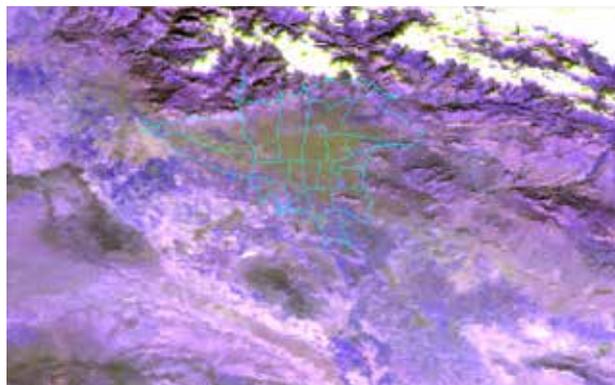


Figura 17. Despliegue y visualización a partir de un formato CDF. Tomado de [24].

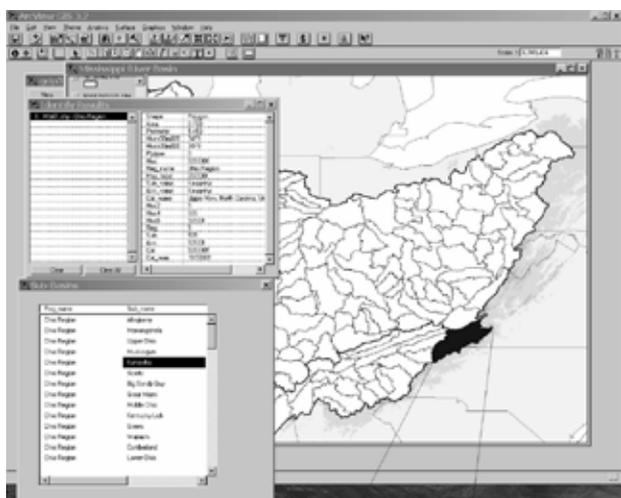


Figura 16. Despliegue y visualización a partir de un formato HDF. Tomado de [23].

Tabla 3. Convenciones de herramientas que soportan los formatos explorados.

Convención	Herramienta
1	ArcGIS
2	MapWindow GIS
3	Google Earth
4	Google Maps
5	GRASS
6	gvSIG
7	Quantum GIS
8	SAGA GIS

Tabla 4. Herramientas que soportan los formatos explorados, parte 1.

Formato	1	2	3	4	5	6	7	8
KML	X	X	X	X	X	X	X	X
ESRI Shapefile	X	X	X	X	X	X	X	X
ESRI Grid	X	X			X		X	
GML	X		X	X	X	X	X	
NetCDF	X				X	X	X	X
CDF	X				X		X	
HDF	X				X		X	

I. Los formatos de almacenamiento, transporte y visualización presentados se encuentran soportados por diversos sistemas de información geográfica y globos virtuales, lo que posibilita su uso e interoperabilidad. En la Tabla 4 se presenta un resumen de diversas herramientas que permiten la visualización de los formatos explorados con base en las convenciones de la Tabla 3. Este resumen no se presenta con gran profundidad ya que se plantea precisamente como trabajo futuro a la exploración de los formatos mencionados. Aun así es posible inferir que formatos como KML y Shapefile son los más masificados y que herramientas como ArcGIS, Grass y Quantum GIS son los que dan mayor cobertura en términos de soporte de formatos de almacenamiento, transporte y visualización.

## 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este trabajo se presentó una caracterización de los formatos de almacenamiento, transporte y visualización de los datos geográficos más relevantes encontrados en la literatura. Fue posible determinar los formatos para la gestión de los modelos de datos *vector*, *raster* y las series de datos; y los recomendados para el uso en la web y aplicaciones de escritorio, respectivamente. Conocer esta información es de gran utilidad en el momento de decidirse por un formato u otro; sin embargo, tradicionalmente ésta es una tarea que conlleva tiempo y que puede llevar a la toma de una mala elección. Este trabajo ayuda a clarificar las características de los formatos estudiados para hacer una correcta elección y potenciar las capacidades y bondades de cada formato.

A partir de este trabajo se pueden derivar otros, tales como:

- Evaluar la viabilidad de la gestión de estos formatos a través de sistemas de gestión de bases de datos.
- Desarrollar modelos relacionales u objetos-relacionales que permitan almacenar los datos gestionados por estos formatos.
- Evaluar la incorporación de estos formatos en los Sistemas de Información Geográfica.
- Evaluar la integración entre los formatos *vector* y *raster* con las series de datos, teniendo en cuenta que los primeros tienen una representación gráfica directa en los SIG.

## REFERENCIAS

- [1]. Rozenstein, O. & Karnieli, A. Comparison of methods for land-use classification incorporating remote sensing and GIS inputs. *Applied Geography*, 31(2), pp. 533-544, 2011
- [2]. Goodchild, M.F. Geographic information systems and science: today and tomorrow. *Procedia Earth and Planetary Science*, 1 (1), pp. 1037-1043, 2001.
- [3]. Nihoul, C.J. Modelling marine ecosystems as a discipline in Earth Science. *Earth-Science Reviews*, 44(1-2), pp. 1-13, 1998
- [4]. Rao, A., Percivall, G.S. & Enloe, Y. Overview of the OGC catalog interface specification. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000. Proceedings. Igarss 2000. IEEE 2000 International*, 3, pp. 1211-1213, 2000
- [5]. Zapata, C.M., Gelbukh, A. & Arango, F., Pre-conceptual Schema: A Conceptual-Graph-Like Knowledge Representation for Requirements Elicitation. *Lecture Notes in Computer Science*, 4293, pp. 17-27, 2006
- [6]. Bolstad, P. *GIS Fundamentals: A first text on Geographic Information Systems*. White Bear Lake, MN: Eider Press, 2005.
- [7]. Hung, L.Q. & Batelaan, O. Environmental geological remote sensing and GIS analysis of tropical karst areas in Vietnam. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS '03. Proceedings. 2003 IEEE International*, 4, pp. 2964-2966.
- [8]. Zapata, C.M., Tamayo, P. & Arango, F. Conversión de Esquemas Preconceptuales a Diagramas de Casos de Uso en AToM3. *Dyna*, 53, pp. 237-251, 2007.
- [9]. Ballagh, L.M. & otros. Representing scientific data sets in KML: Methods and challenges. *Computers & Geosciences*, 37 (1), pp. 57-64, 2011
- [10]. KML Reference. *Keyhole Markup Language*. Google's KML Documentation. Recuperado: Mayo 2011: <http://code.google.com/apis/kml/documentation/kmlreference.html>
- [11]. Smirnoff, A., Paradis, S.J. & Boivin, R. Generalizing surficial geological maps for scale change: ArcGIS tools vs. cellular automata model. *Computers & Geosciences*, 34 (11), pp. 1550-1568, 2008
- [12]. Aburizaiza, A.O. & Ames, D.P. (2008). GIS-Enabled Desktop Software Development Paradigms. *Advanced Geographic Information Systems & Web Services, 2009. GEOWS '09. International Conference*, pp. 75-79, 2009.

- [13].Xia, K. & Wei, C. Study on Real-Time Navigation Data Model Based on ESRI Shapefile. *Embedded Software and Systems Symposia, 2008. ICES Symposium '08. International Conference on*. pp. 174-178, 2008
- [14].Lake, R. The application of geography markup language (GML) to the geological sciences. *Computers & Geosciences, 31(9)*, pp. 1081-1094, 2009.
- [15].Manduchi, G. Commonalities and differences between MDSplus and HDF5 data systems. *Fusion, Engineering and Design, 85 (3-4)*, pp. 583-590, 2010
- [16].McDonald, K. & otros. A Gateway to Support Interoperability of OPeNDAP and OGC Protocols. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2006. IGARSS 2006. IEEE International Conference on*, pp. 301-304, 2006
- [17].Ferreira, K.R., Vinhas, L., Monteiro, AM.V. & Camara, G. IEEE 28th International Conference on Moving Objects and KML Files. *Data Engineering Workshops (ICDEW)*, pp. 355-359, 2012
- [18].Dadi, U., Cheng, L. & Vatsavai, R.R. Query and Visualization of extremely large network datasets over the web using Quadtree based KML Regional Network Links , 17th International Conference on Geoinformatics, pp. 1-4, 2009
- [19].Kai, X. & Chao, W. Study on Real-Time Navigation Data Model Based on ESRI Shapefile. *ICES Symposium '08. International Conference on Embedded Software and Systems*, pp. 174-178, 2008
- [20].Bearman, N. & Fisher, P. Using sound to represent spatial data in ArcGIS. *Computers & Geosciences, 46*, pp. 157-163, 2008
- [21].Xuezheng, S., Guoxiang, Y., Dongsheng, Y., Shengxiang, X., Warner, E., Petersen, G., Sun, W., Zhao, X., Easterling, W.E. & Wang, H. A WebGIS system for relating genetic soil classification of China to soil taxonomy. *Computers & Geosciences, 36 (6)*, pp. 768-775, 2012
- [22].Zavala, O., Ahmed, A., Chassignet, E.P., Zavala, J., Fernández, A. & Meyer, A. An open source Java web application to build self-contained web GIS sites. *Environmental Modelling & Software, 62*, pp. 210-220, 2013
- [23].Nelson, B.R., Krajewski, W.F., Kruger, A., Smith, J.A. & Baeck, M.L. Archival precipitation data set for the Mississippi River Basin: development of a GIS-based data browser. *Computers & Geosciences, 29(5)*, pp. 595-604, 2013.
- [24].Sohrabinia, M. & Khorshiddoust, A.M. Application of satellite data and GIS in studying air pollutants in Tehran. *Habitat International, 31(2)*, pp. 268-275, 2012