

Conceptual Analysis of the Interoperability between Geographic Information Systems

Análisis Conceptual de la Interoperabilidad entre Sistemas de Información Geográfica

Carlos Mario

Zapata Jaramillo

Escuela de Sistemas, Universidad
Nacional de Colombia
cmzapata@bt.unal.edu.co

Mauricio Toro Botero

Escuela de Geociencias y Medio Ambiente,
Universidad Nacional de Colombia
fmtoro@unal.edu.co

María Isabel Marín

Universidad Nacional de Colombia
mimarinm@unal.edu.co

(Artículo REVISIÓN. Recibido el 11/11/2011. Aprobado el 12/12/2011)

Abstract

Nowadays, Geographic Information Systems (GIS) are widely used in companies to manage spatial information. Usually, GIS and databases are developed independently from each other and their sharing process is complicated and complex. Therefore, it is necessary to study the interoperability between GIS and data bases. Interoperability refers to the program ability to share data and processes with little or no intervention from the user. Several initiatives to improve the interoperability at the semantic and syntactic level have been developed in the past. These initiatives are classified as follows: 1) by the standards definition; 2) by ontology GIS development; 3) by web services development; and 4) by grid computing development. This paper presents a state-of-the-art conceptual analysis of each classification. The major contributions are identified and a graphical summary is presented by a pre-conceptual schema.

Keywords: Interoperability, OGC, Geographic Information Systems, Web Services.

Resumen

Hoy en día los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se utilizan ampliamente al interior de las empresas para la gestión de la información espacial. Usualmente, el desarrollo de estos sistemas y sus bases de datos se realizan de manera aislada, generando inconvenientes a la hora de intentar compartir los datos y las funciones entre ellas. Este problema evidencia la necesidad de buscar opciones de interoperabilidad—definida ésta como la capacidad de los programas para compartir sus datos y procesos de manera que haya poca o nula intervención del usuario—entre los SIG. Existen varios esfuerzos realizados en esta dirección, principalmente a nivel sintáctico y semántico, clasificados en cuatro grupos principales: 1) la definición de estándares, 2) la elaboración de ontologías en el dominio SIG, 3) el desarrollo de servicios web y 4) la implementación de computación *grid*. En este artículo se realiza un análisis conceptual de los trabajos realizados en cada clasificación, se sintetizan los aportes identificados y se presenta un resumen gráfico mediante un esquema preconceptual.

Palabras clave: Interoperabilidad, OGC, Sistemas de Información Geográfica, Servicios Web.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, los Sistemas de Información Geográfica (SIG), entendidos como una tecnología que ayuda en la gestión de la información espacial, juegan un papel importante en la toma de decisiones al interior de las empresas. Esta tendencia se da por la necesidad actual de agregar la dimensión “espacio” a la información, sin importar el dominio del conocimiento en el que se esté trabajando y por la facilidad de acceso a la información obtenida desde los diferentes sistemas de posicionamiento global [1-2].

La implementación de los SIG y de las bases de datos espaciales asociadas con ellos, usualmente, se realiza en cada empresa de manera independiente. Así, cada SIG incorpora las necesidades y características propias de cada entidad y dominio en el que se especializa el negocio [3]. El desarrollo aislado de las aplicaciones dificulta el análisis integrado de la información para efectos de planificación espacial, inversión y, en general, para la toma de decisiones a nivel interinstitucional (o a nivel interno en el caso en el que se usa más de un SIG) [4].

El problema de la integración de los SIG a nivel funcional y de los datos evidencia la necesidad de buscar opciones para dotar a los SIG con la capacidad de interoperar. Existen varias definiciones de interoperabilidad entre SIG. Por ejemplo, [5], la definen como la habilidad de dos o más aplicaciones SIG para intercambiar y usar información.

La interoperabilidad entre SIG es un tópico que se suele trabajar en áreas de investigación de las Ciencias de la Tierra y la Geocomputación [6]. De esta manera, existen varios esfuerzos realizados en esta dirección, principalmente en los niveles sintáctico, semántico y funcional de la interoperabilidad.

Las iniciativas se clasifican en cuatro grupos principales:

- 1) la definición de estándares;
- 2) la elaboración de ontologías en el dominio SIG;
- 3) el desarrollo de servicios web;
- 4) la implementación de computación grid.

La primera categoría abarca los medios para transportar la información, la segunda aborda los mecanismos para hacer que la información compartida se comprenda semánticamente y la tercera y cuarta se enfocan en los esfuerzos en la integración de datos y procesos.

En este artículo se presentan las cuatro clasificaciones mencionadas y se exploran los trabajos realizados en cada una. Asimismo, se analizan los aportes y se identifican las falencias y los problemas que persisten. Finalmente, se presenta un resumen gráfico mediante un esquema preconceptual [7], que permite identificar las relaciones estructurales y dinámicas entre los conceptos involucrados en el dominio de la interoperabilidad entre SIG.

Este artículo se estructura de la siguiente manera: en la sección 2 se define el marco teórico que expone los conceptos de interoperabilidad, SIG y esquemas preconceptuales; en la sección 3 se presentan algunos de los trabajos representativos en el tema; en la sección 4 se realiza una síntesis y análisis conceptual de los trabajos revisados en el tema; en la sección 5 se determinan los principales problemas que quedan aún por resolver y, finalmente, en la sección 6 se presentan las conclusiones y el trabajo futuro que se puede derivar de este trabajo.

II. MARCO TEÓRICO

A. Interoperabilidad

En [8] se define la interoperabilidad entre sistemas heterogéneos como la capacidad para ejecutar programas y transferir datos entre diferentes unidades funcionales, de tal forma que el usuario tenga poco o ningún conocimiento de las características únicas de dichas unidades. Esta capacidad se logra usando mecanismos de

interoperabilidad como estándares de marcado, lenguajes de consulta y servicios web, entre otros [9].

B. Sistemas de Información Geográfica

Los SIG son herramientas informáticas que proveen funciones para recuperar, procesar, manipular y visualizar información que incorpora una componente geográfica, utilizadas principalmente para estudios en los dominios de las ciencias de la tierra, la atmósfera y el océano (e.g. ordenamiento territorial, análisis hídrico, hidrológico, climatológico y apoyo en toma de decisiones) [10].

Actualmente los datos en los SIG se separan en dos tipos principales *-raster* y *vector-* según el carácter de la información que se esté representando. Los datos *raster* representan fenómenos del mundo real que varían continuamente en el espacio, como la precipitación, evapotranspiración y la elevación, entre otros. Contienen un conjunto de valores, cada uno asociado con una celda de una matriz. Muchas veces esta información se obtiene mediante un proceso de interpolación a partir de datos medidos en puntos de muestreo. La información vector representa los fenómenos discretos cuya forma y localización exacta son las características más importantes en el proceso de análisis. El formato vector almacena los datos mediante una o más primitivas geométricas (punto, línea o polígono). Tanto a los datos *raster* como a los datos *vector* se les pueden asociar registros alfanuméricos temáticos como atributos y/o metadatos [8].

C. 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 aplicación de software. Estos esquemas permiten representar las relaciones estructurales y dinámicas del dominio [7]. En la Figura 1 se presentan los elementos de los esquemas preconceptuales que se utilizarán en este artículo, cuyos significados son los siguientes:

- Los Conceptos representan los sustantivos del dominio.
- Las Instancias son conjuntos de valores que puede tomar un concepto y que sirven para aclararlo.
- Las Relaciones Estructurales definen relaciones permanentes entre dos conceptos usando únicamente los verbos "ser" y "tener".
- Las Relaciones Dinámicas son verbos que denotan acciones u operaciones que generan relaciones transitorias entre los conceptos (e. g. registra, paga, asigna, etc.).
- Las Referencias son elementos que permiten ligar conexiones desde o hacia conceptos físicamente distantes en el Esquema Preconceptual.

- Las conexiones son vínculos entre conceptos y relaciones (dinámicas o estructurales) y viceversa.
- La implicación sirve para unir relaciones dinámicas, estableciendo entre ellas una relación causa-efecto.
- Las conexiones de instancias permiten ligar un conjunto de instancias con el concepto del cual son valores.

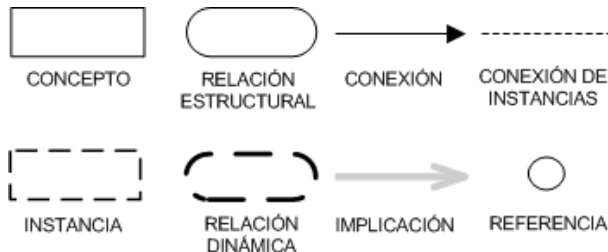


Fig. 1. Algunos elementos de los esquemas preconceptuales. Fuente: [7] y [11]

En la Figura 2 se presenta un ejemplo de la representación, por medio de un esquema preconceptual, de la especificación textual en lenguaje natural: “Luego de que la secretaria elabora el informe, el gerente firma el informe”.

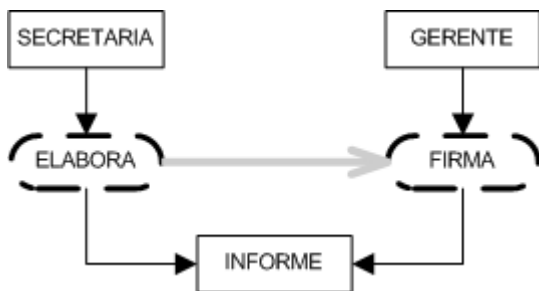


Fig. 2. Ejemplo de un esquema preconceptual. Fuente: Elaboración propia

III. INTEROPERABILIDAD ENTRE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

En esta sección se subrayan las palabras que se utilizarán como conceptos y verbos de las relaciones dinámicas, empleados en el análisis conceptual que se presenta en la sección IV. Todos los elementos subrayados se pueden visualizar en el esquema preconceptual; sin embargo, no todos los elementos del esquema aparecen en esta sección, ya que fue necesario agregar algunos elementos con el fin facilitar el entendimiento del esquema.

En [5] se define la interoperabilidad entre SIG como la capacidad de dos o más programas para intercambiar información y utilizarla en las funciones propias de cada uno.

Algunos mecanismos para lograr la interoperabilidad entre SIG son: mediante la transformación de datos [5]; accediendo directamente a fuentes de información empleando las APIs o componentes COM que proporcionan los desarrolladores de SIG [12]; utilizando la Arquitectura Común de Intermediarios en Peticiones a Objetos (*Common Object Request Broker Architecture CORBA*) [10]; mediante la definición de estándares; con la elaboración de ontologías en el dominio SIG; mediante la implementación de computación grid [13]; y con el desarrollo de servicios web. Los últimos cuatro mecanismos son los que más se utilizan. Sin embargo, en muchas ocasiones se utilizan diferentes técnicas simultáneamente [14]. Por otro lado, en [2] se considera que se pueden discutir tres niveles de interoperabilidad: 1) sintáctico; 2) semántico y 3) funcional.

A. Definición de estándares

La definición de estándares posibilita la interoperabilidad en el nivel sintáctico y la impulsan, principalmente, tres organizaciones: el *Open Geospatial Consortium* (OGC), el *Open-source Project for a Network Data Access Protocol* (OPeNDAP) y el programa Unidata de la *University Corporation for Atmospheric Research* (UCAR). El primero se orienta a las comunidades de las ciencias de la tierra: geofísica, geología, meteorología y todos los dominios del conocimiento cuyos datos se obtienen sobre los continentes. OPeNDAP y UCAR se centran en las comunidades de la atmósfera y el océano [15].

El OGC definió el *Geographic Markup Language* (GML), una codificación XML para el transporte y almacenamiento de la información geográfica. GML incluye tanto la geometría como los atributos asociados con la geometría almacenada [16], que la ISO estandarizó en la serie de documentos ISO 19100. El KML (*Keyhole Markup Language*), que desarrolló Google para representar datos geográficos en tres dimensiones, también alcanzó el estatus de estándar con el OGC. Un archivo KML especifica un lugar en el espacio y contiene título, descripción, coordenadas (latitud y longitud) e información complementaria (atributos). Estos archivos se suelen distribuir comprimidos como KMZ [17].

Por otro lado, la organización OPeNDAP específica y promueve el protocolo que lleva su mismo nombre, el cual se basa en HTTP y define una arquitectura de transporte de datos para encapsular la estructura de la información, anotaciones, atributos y descriptores semánticos, [18-19]. Agencias gubernamentales como la NASA y la NOAA usan ampliamente OPeNDAP para servir vía satelital información climática y otros datos observados sobre la tierra. Cuando un cliente OPeNDAP envía una solicitud a un servidor, OPeNDAP recibe como

respuesta varios tipos de documentos o datos binarios. Algunos de esos documentos son DDS (*Data Descriptor Structure*), que describe la estructura del conjunto de datos, DAS (*Data Attribute Structure*), que almacena los atributos de los campos descritos en DDS, y los datos como tal se envían en un binario mediante una petición DODS (*Distributed Ocean Data System*) [20-21].

Además del OPeNDAP y el OGC, la UCAR definió el *Network Common Data Form* (NetCDF) como formato para el almacenamiento de datos espaciales, el cual es independiente de la plataforma y proporciona un conjunto de librerías para su gestión. En [22] se expone la especificación del formato. En [23] se presenta una iniciativa para encapsular NetCDF en el GML del OGC y en [24] se propone un método para desplegar este formato desde un SIG Web.

B. Ontologías en el dominio SIG

El nivel de interoperabilidad semántico se aborda desde la construcción de ontologías en el dominio SIG. Las ontologías son formulaciones rigurosas de esquemas conceptuales para un dominio dado. Se construyen con el fin de facilitar la comunicación y el intercambio de información entre diferentes sistemas [25]. En este apartado se exponen los trabajos más relevantes en esta dirección.

En [26] se propone un modelo ontológico de cinco capas: 1) *Real Geographic World*, que presenta los conceptos como se aprecian en el mundo real (e. g. corriente, río); 2) *Feature*, que define las categorías de los conceptos en el mundo real (e. g. redes de drenaje); 3) *Feature Class* que mapea las categorías a un tipo de elemento geográfico (e. g. punto, línea, polígono); 4) *Metadata Class* que brinda descriptores a los diferentes conceptos; y 5) *Ontology Class* que posibilita la integración de las diferentes capas.

En [27] se utiliza un enfoque de ontologías híbrido para establecer la similitud semántica entre conceptos, la cual consiste en construir una ontología por cada SIG (independientes) y tener una ontología general como referencia. Adicionalmente, presentan la herramienta *Agreement Maker* en donde, por medio de una interfaz gráfica, el usuario indica las consideraciones iniciales de similitud semántica. Este enfoque posibilita ampliar búsquedas sobre bases de datos espaciales a partir de un concepto inicial.

En [28] se establece la similitud semántica utilizando como ontología de referencia *Word Net*. Proponen un método de comparación que obtiene el grado de similitud entre conceptos basado en un indicador de similitud sintáctica, semántica y el grado de influencia de la similitud sintáctica sobre cada concepto.

En [29] se introduce una metodología ontológica utilizando el lenguaje OWL (*Web Ontology Language*), que se basa en GML. La metodología establece la construcción de tres ontologías: *Geo Feature*, *Geo Coordination System* y *Geo Relation*. La primera de ellas contiene los conceptos del mundo real, tales como río y país, entre otros; la segunda establece los diferentes sistemas de coordenadas existentes y la tercera presenta las relaciones entre objetos a nivel topológico, de dirección y distancia, entre otros.

En [30] se presenta la especificación y el desarrollo de una *Web Ontology Service* (WOS) basado en la especificación OGC *Web Services Architecture* (WSA). WOS se compone de tres capas: repositorio, aplicación y servicio. La primera almacena las ontologías (conceptos y metadatos que describen la ontología completa), la segunda provee acceso a los conceptos de la ontología y sus metadatos y la tercera provee un servicio *wrapper* para permitir el acceso de clientes web.

En [31] se propone una ontología basada en capas y se enfocan principalmente en el consenso y entendimiento de las unidades de medida asociadas con los datos geográficos. Presentan una ontología fundamental de servicios geográficos que contiene los conceptos del dominio y una ontología de unidades de medida para describir la entrada y salida de los datos de los servicios. Finalmente, proponen una ontología superior a las anteriores dos para registrar el consenso del dominio entre desarrolladores y ambientalistas.

Por su parte, [32] presentan una taxonomía en el dominio de los servicios geográficos basada en las características del descubrimiento de los servicios y la interoperabilidad. La taxonomía se compone de seis capas, a saber: *servicecategory*, *servicetype*, *version*, *binding*, *profile* y *uniformresourcename* (URN). La primera permite identificar si se trata de un servicio de registro/catálogo, de acceso, despliegue o transformación de datos; la segunda posibilita identificar el tipo de servicio con base en un conjunto de estándares establecidos; la tercera representa la versión del estándar definido en la capa *servicetype*; la cuarta especifica el protocolo concreto utilizado (e. g. SOAP, HTTP GET, HTTP POST); la quinta indica la interpretación de la especificación para el dominio particular y la última posibilita representar la identificación del servicio web.

C. Servicios Web

El nivel de interoperabilidad funcional permite el intercambio de procesos entre los sistemas. En este nivel, la interoperabilidad entre SIG se aborda desde la definición

e implementación de servicios web y mediante la computación *grid*.

Los servicios web son aplicaciones de software que utilizan protocolos y estándares para compartir datos y acceder a procesos en red. Se implementan basados en tecnologías como XML Schema, Simple Object Access Protocol (SOAP), Web Services Definition Language (WSDL), y Universal Description, Discover, and Integration (UDDI), entre otros [33]. Los servicios web SIG, adicionalmente, incorporan modelos de datos espaciales [34].

El OGC propone algunas especificaciones de servicios web SIG que se utilizan comúnmente en la industria [35]. En los trabajos de [36-38] presentan una síntesis de los servicios web más relevantes:

- Web MapService (WMS), que provee mapas por medio de las interfaces de operaciones GetCapabilities, GetMap y GetFeatureInfo;
- Web FeatureService (WFS) para proporcionar elementos vector en el formato GML usando las interfaces de operaciones GetCapabilities, DescribeFeatureType, y GetFeature;
- Web CoverageService (WCS) que posibilita servir datos raster mediante las operaciones GetCapabilities, DescribeCoverage y GetCoverage;
- Catalogue Service for Web (CSW) para proporcionar un puente entre el proveedor y los usuarios de los servicios de información espacial. De esta manera, permite a los clientes descubrir servicios OGC en la web.

Basados en los servicios web y en la definición OWS (OGC Web Services), [39] especifican un *framework* de interoperabilidad espacial basado en cuatro capas:

- a) de integración de aplicación;
- b) de gestión de aplicación web;
- c) de registro de servicios;
- d) de almacenamiento de datos espaciales GML (*Geography Markup Language*).

El artículo establece mecanismos de generación SOAP, de descripción WSDL y de registro de servicios UDDI.

En [40] se integran repositorios de datos espaciales mediante SOA (*Service-Oriented Architecture*). Este sistema utiliza una ontología central de datos para el procesamiento de consultas empleando fuentes de datos heterogéneas. Los autores plantean dos niveles de ontologías: de dominio y de aplicación y las incorporan dentro del sistema en el proceso de descubrimiento y recuperación de servicios.

En [41] se propone un modelado difuso de datos espaciales que describe las propiedades inciertas de estos.

La interoperabilidad sintáctica se aborda con GML y para compartir los datos y los procesos emplean SOA.

La interoperabilidad entre SIG mediante servicios web se evidencia en la literatura principalmente desde la aplicación. Es el caso de [42-45], quienes implementan SOA en el dominio SIG para casos de estudio particulares; En [46-47] se utiliza OWS (OGC Web Service) para incorporar los servicios OGC WMS, WFS, WCS y CSW, y en [48] integran SOA con los estándares OGC. En [49] implementan SOA utilizando Business Process Execution Language (BPEL) para la orquestación y permite la definición personalizada de mapas.

D. Computación Grid

La computación *grid* es una tecnología que permite utilizar de forma coordinada varios recursos (e. g. cómputo, almacenamiento y aplicaciones específicas) dispuestos en nodos distribuidos que no están sujetos a un control centralizado. Los recursos pueden ser heterogéneos, administrados por diferentes instituciones y conectados mediante redes de área extensa [50-51]. Universidades, laboratorios de investigación y/o empresas se asocian para formar *grids*, para lo cual utilizan algún tipo de software que implementa este concepto [52]. Este mecanismo se utiliza como medio para generar interoperabilidad funcional al interior del dominio SIG.

En esta dirección, [53] prueban los estándares OGC en *Grids* de información espacial logrando la interoperabilidad entre los nodos de estos; [6] utilizan el *Gris middleware Globos toolkit 4* y java, para desarrollar y desplegar servicios de mapas *grid* que encapsulan el *Web MapService* OGC; y [54] proponen una arquitectura para computación *grid* espacial usando las especificaciones OGC y haciendo uso del software de código abierto *MapServer*.

IV. ANÁLISIS CONCEPTUAL

La revisión de literatura de la interoperabilidad entre SIG presentada en la sección 3 se sintetiza en la Tabla 1, con base en los niveles de interoperabilidad Sintáctico, Semántico y Funcional y utilizando los mecanismos de interoperabilidad que se presentaron: definición de estándares; implementación de ontologías; uso de computación *grid*; y mediante servicios web. Adicionalmente, se indica si la solución presentada se generalizó o no, en el segundo caso se infiere que el trabajo se quedó en la aplicación.

TABLA 1: Síntesis de los trabajos revisados en Interoperabilidad entre Sistemas de Información Geográfica.

Mecanismo	Sintáctico	Semántico	Funcional		Solución Generalizada
	Estándares	Ontologías	Computación Grid	Servicios Web	
[6]	X		X	X	
[16]	X				X
[17]	X				X
[18]	X				X
[19]	X				X
[20]	X				X
[21]	X				X
[22]	X				X
[23]	X				X
[24]	X				X
[26]		X			X
[27]		X			X
[28]		X			
[29]	X	X			X
[30]		X			X
[31]		X			
[32]		X			X
[35]	X			X	X
[36]	X			X	X
[37]	X			X	X
[38]	X			X	X
[39]	X			X	X
[40]		X		X	
[41]	X			X	
[42]				X	
[43]				X	
[44]				X	
[45]				X	
[46]	X			X	
[47]	X			X	
[48]	X			X	
[49]				X	
[53]	X		X		
[54]	X		X	X	

Empleando un esquema preconceptual [7], el cual permitela representación del conocimiento en cualquier dominio, se propone una síntesis conceptual de la interoperabilidad entre Sistemas de Información Geográfica en la Figura 3.

V. PROBLEMAS QUE PERSISTEN

Los esfuerzos que se presentaron logran facilitar la interoperabilidad entre SIG en una gran cantidad de casos. Sin embargo, algunos problemas persisten.

La definición de estándares posibilita la interoperabilidad entre aplicaciones implementadas bajo las mismas especificaciones. Sin embargo, los programas que ya se desarrollaron o los que implementan diferentes estándares entre sí, no tienen garantizada la interoperabilidad. A estos problemas se suma el hecho de que los estándares son sensibles a las versiones.

La elaboración de ontologías en el dominio SIG, facilita la interoperabilidad a nivel semántico. Sin embargo, esta solución requiere de mecanismos adicionales que permiten la interoperabilidad sintáctica.

La utilización de computación *grid* y servicios web para la interoperabilidad SIG, incorpora los limitantes de cada tecnología. Algunos limitantes presentes en los servicios web son: cuando se va a implementar sobre un software ya desarrollado es necesaria una intervención fuerte en el paradigma del software; los servicios web se implementan uno por cada pareja de SIG y por cada tarea que se quiera realizar; y adicionalmente el flujo de datos se debe reducir, ya que no se concibieron para la gestión de grandes cantidades de datos. Por otro lado, la computación *grid* presenta los siguientes limitantes:

- debe ser capaz de gestionar cualquier tipo de recurso presente en los sistemas involucrados, necesidad que sigue siendo un foco de investigación en esta tecnología;
- el descubrimiento, la selección, reserva, asignación, gestión y monitoreo de recursos son procesos que se deben controlar externamente, reduciendo las bondades del proceso autónomo en la interoperabilidad;
- la comunicación es lenta y no uniforme.

Los mecanismos que involucran el uso de los datos en la web, presentan un limitante adicional, ya que muchas empresas no tienen la información en internet y no todos los dirigentes están listos para tener los datos descentralizados [3].

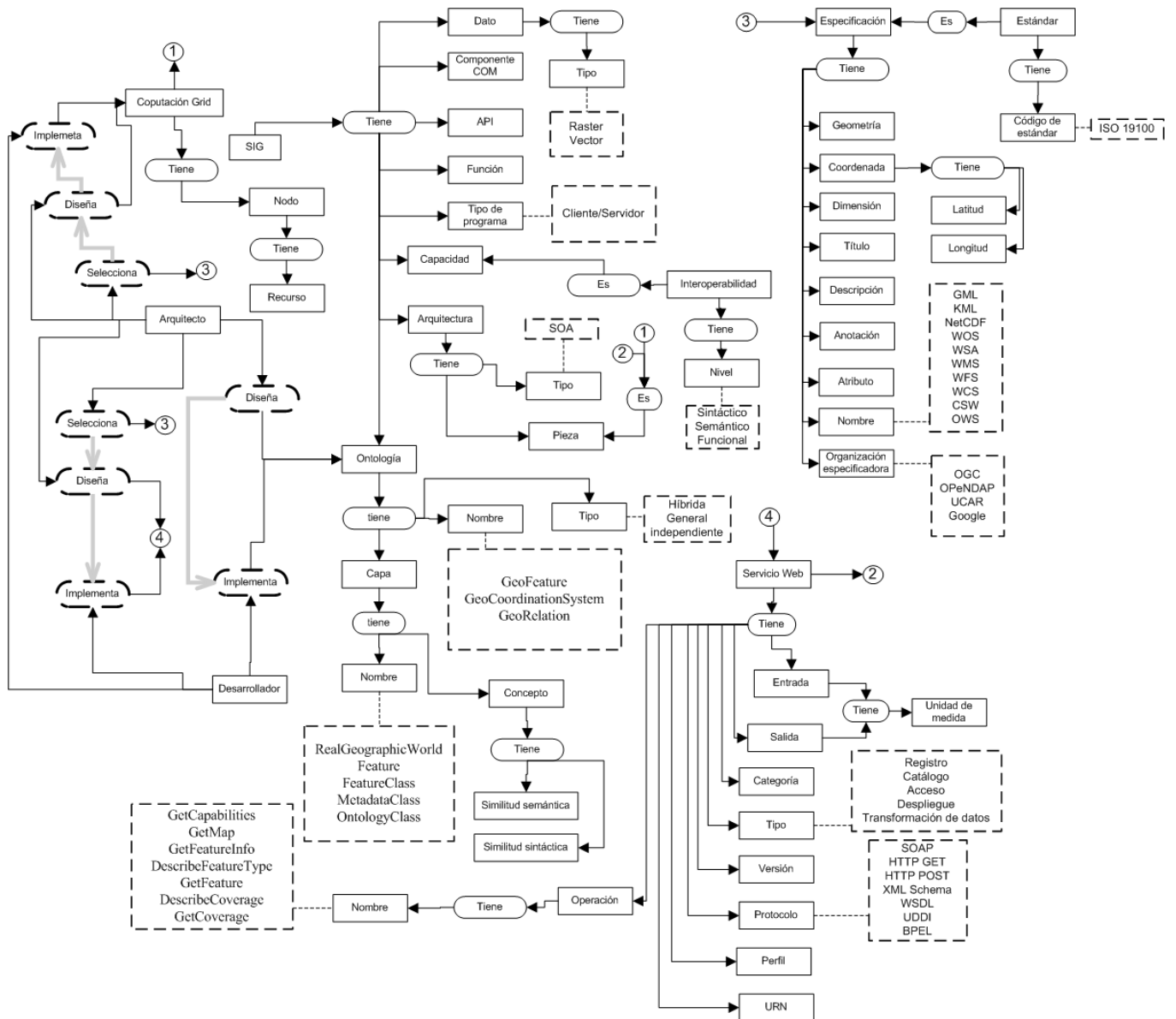


Fig. 7. Síntesis conceptual de la interoperabilidad entre Sistemas de Información Geográfica. Fuente: Elaboración propia

VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este artículo se expusieron y analizaron algunos trabajos representativos en el dominio de la interoperabilidad entre Sistemas de Información Geográfica. Fue posible identificar cuatro frentes que resumen los esfuerzos en el área:

- a) la definición de estándares,
- b) la elaboración de ontologías en el dominio SIG,
- c) el desarrollo de servicios web,
- d) la implementación de computación *grid*.

Se realizó una síntesis gráfica de la situación actual mediante un esquema preconceptual y, finalmente, fue posible identificar los problemas que persisten

concluyendo que la interoperabilidad entre Sistemas de Información Geográfica continúa siendo un tópico de investigación importante en el área.

Como trabajo futuro de este análisis conceptual en el dominio de la interoperabilidad entre SIG, se propone:

- Identificar las características propias del dominio SIG independientes del fabricante, en términos de tipos de datos y operaciones.
- Definir un mecanismo que permita la interoperabilidad entre SIG a partir de las características propias del dominio SIG.
- Definir un método que permita a los SIG integrar los medios para interoperar en los niveles sintáctico, semántico y funcional.

VII. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se financió con fondos del proyecto de investigación "Estudio de la problemática ambiental de tres embalses de EPM", ejecutado en la Escuela de Geociencias y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, conjuntamente con la Universidad de Antioquia.

VIII. REFERENCIAS

- [1] McCasland, W. y Kovach, K. (2000). "Open system architecture (OSA) for dual-use satellite navigation". En: *Aerospace Conference Proceedings, 2000 IEEE*. Vol. 1. pp. 99 - 110.
- [2] Chen, Y. y Deng, Y. (2010). "Realization of Interoperation of Geographical Information in GeoGlobe Service Platform". En: *Geoinformatics, 2010 18th International Conference on*. pp. 1 - 5.
- [3] Karabegovic, A. y Ponjavic, M. (2010). "Integration and Interoperability of Spatial Data in Spatial Decision Support System Environment". En: *MIPRO, 2010 Proceedings of the 33rd International Convention*. pp. 1266 - 1271.
- [4] Mersini, P.; Evangelos, S.; Efrosini, S.; Athanasios, T. y Giannis, T. (2010). "Interoperability and Design Issues of Spatial Data and Geographic Information Systems in Greece". En: *2010 14th Panhellenic Conference on Informatics*. pp. 55 - 60.
- [5] Budiarto, R.; Pradeep, I. y Maulana, A. (2009). "Transformation of Spatial Data Format for Interoperability between GIS Applications". En: *Sixth International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization*. pp. 536 - 539.
- [6] Sun, Y.; Fang, Y.; Bin, C.; Lin, J. y Bi, L. (2008). "Research on the Sharing and Interoperation of Geospatial Information Based on the Combination of GRDI and OGC". En: *2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. pp. II-1325 - 1328.
- [7] Zapata, C.M.; Gelbukh, A. y Arango, F. (2006). "Pre-conceptual Schema: A Conceptual-Graph-Like Knowledge Representation for Requirements Elicitation". En: *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 4293. pp. 17-27.
- [8] Giannecchini, S.; Spina, F.; Nordgren, B. y Desruisseaux, M. (2006). "Supporting Interoperable Geospatial Data Fusion by adopting OGC and ISO TC 211 standards". En: *2006 9th International Conference on Information Fusion*. pp. 1-8.
- [9] Zapata, C.M. y González, G. (2009). "Revisión de la literatura en interoperabilidad entre sistemas heterogéneos de software". En: *Ingeniería e Investigación*. Vol. 29. No 2. Pp. 42-47.
- [10] Liao, T-Y. y Hu, T-Y. (2002). "A CORBA-based GIS-T for ambulance assignment". En: *Proceedings IEEE International Conference on Application- Specific Systems, Architectures, and Processors*. pp. 371 - 380.
- [11] Zapata, C.M.; Tamayo, P. y Arango, F. (2007). "Conversión de Esquemas Preconceptuales a Diagramas de Casos de Uso en AToM3". En: *Dyna*. No.153. pp. 237-251.
- [12] Zhang, X.; Zhu, X.; She, B. y Bao, S. (2009). "The spatial data integration and analysis with China Geo-Explorer". En: *Geoinformatics, 17th International Conference on*. pp. 1-8.
- [13] Sun, Y. y Li, G. (2008). "Interoperability Research of Heterogeneous GIS Based on Spatial Information Grid". En: *2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering*. pp. 41-44.
- [14] Domenico, B.; Caron, J.; Davis, E.; Nativi, S. y Bigagli, L. (2006). "GALEON: Standards-based Web Services for Interoperability among Earth Sciences Data Systems". En: *2006 IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing*. pp. 313-316.
- [15] Hu, C.; Di, L. y Yang, W. (2009). "The research of interoperability in spatial catalogue service between CSW and THREDDS". En: *17th International Conference on Geoinformatics*. pp. 1 - 5.
- [16] Sripada, L.; Lu, C-T. y Wu, W. (2004). "Evaluating GML Support for Spatial Databases". En: *Computer Software and Applications Conference. COMPSAC 2004. Proceedings of the 28th Annual International*. Vol. 2. pp. 74-77.
- [17] Du, Y.; Yu, C. y Liu, J. (2009). "A Study of GIS Development Based on KML and Google Earth". En: *Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC*. pp. 1581-1585.
- [18] Xu, C.; Li, S. y Mi, P. (2010). "OPeNDAP Based Physical Oceanographic Data Service System of South China". En: *Innovative Computing & Communication, Intl Conf on and Information Technology & Ocean Engineering, 2010 Asia-Pacific Conf on (CICC-ITOE)*. pp. 54 - 57
- [19] Holloway, D. y Ullman, D. (2005). "Seamless access to surface current vectors from the IOOS HF radar backbone". En: *OCEANS, 2005. Proceedings of MTS/IEEE*. Vol. 1. pp. 949 - 952.
- [20] Min, M.; Kenneth, Mc.; Yang, W.; Di, L.; Enloe, Y. y Dan, H. (2007). "Extending OGC data services for CEOP science community". En: *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS 2007. IEEE International*. pp. 5005 - 5008.
- [21] Risien, C.M.; Allan, J.C.; Blair, R.; Jaramillo, A.V.; Jones, D.; Kosro, P.M.; Martin, D.; Mayorga, E.; Newton, J.A.; Tanner, T. y Uczekaj, S.A. (2009). "The NANOOS Visualization System: Aggregating, displaying and serving data". En: *OCEANS 2009, MTS/IEEE Biloxi - Marine Technology for Our Future: Global and Local Challenges*. pp. 1 - 9.
- [22] Rew, R. y Davis, G. (1990). "NetCDF: an interface for scientific data access". En: *Computer Graphics and Applications, IEEE*. Vol. 10.No. 4. pp. 76 - 82.
- [23] Nativi, S.; Caron, J. y Domenico, B. (2004). "NcML-GML: encoding NetCDF datasets using GML". En: *Database and Expert Systems Applications, 2004. Proceedings 15th International Workshop*. pp. 804 - 808.
- [24] Cong-cong, X. Li-ying, W. (2010). "Study of Image Display with NetCDF Data on WebGIS". En: *Information Technology and Computer Science (ITCS), Second International Conference on*. pp. 368 - 371.
- [25] Frank, A. (2001). "Tiers of Ontology and Consistency Constraints in Geographic Information Systems". En: *International Journal of Geographical Information Science*. Vol 15.No. 7. pp. 667-78.
- [26] Yan, Y.; Li, J. y He, Z. (2006). "Research on Ontology Based Semantic Integration Model in Spatial Data Sharing". En:

- Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2006. IGARSS 2006. IEEE International Conference on. pp. 2872 - 2875.
- [27] Cruz, I.; Sunna, W.; Makar, N. y Bathala, S. (2007). "A visual tool for ontology alignment to enable geospatial interoperability". En: *Journal of Visual Languages and Computing*. No. 18. pp. 230 - 254.
- [28] Khelifa, D. y Mimoun, M. (2008). "Ontology Based Semantic Integration of Heterogeneous Geographical Information Systems". En: *3rd International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications*. pp. 1 - 7.
- [29] An, Y. y Zhao, B. (2007). "Geo Ontology Design and Comparison in Geographic Information Integration". En: *Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*. No. 200626. pp. 608 - 612.
- [30] Lacaste, M.; Noguerales, J.; Béjar, R.; Muro, P. y Zarazaga, F.J. (2007). "A Web Ontology Service to facilitate interoperability within a Spatial Data Infrastructure: applicability to discovery". En: *Data & Knowledge Engineering*. Vol. 63.No. 3. Pp. 947-971.
- [31] Fallahi, G.; Frank, A.; Mesgari, M. y Rajabifard, A. (2008). "An ontological structure for semantic interoperability of GIS and environmental modeling". En: *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Vol. 10.No. 3. pp. 342 - 357.
- [32] Bai, Y.; Di, L. y Wei, Y. (2009). "A taxonomy of geospatial services for global service discovery and interoperability". En: *Computers & Geosciences*. Vol. 35.No. 4. pp. 783 - 790.
- [33] Chen, A.; Di, L.; Bai, Y. y Wei, Y. (2006). "Grid-enabled Web Services for Geospatial Interoperability". En: *American Geophysical Union (AGU) 2006 Joint Assembly*. Baltimore, Maryland, USA.
- [34] Shu, Y.; Zhang, J.F. y Zhou, X. (2006). "A Grid-enabled Architecture for Geospatial Data Sharing". En: *Industrial and Information Systems (ICIIS), International Conference on*. pp. 369 - 375.
- [35] Almaliotis, I.; Diakakis, I. y Mitakos, T. (2009). "A Preliminary Attempt to Create a Unified Model for Obtaining and Processing Geodata: Geodata Information Sharing". En: *Systems, Signals and Image Processing, 2009. IWSSIP 2009.16th International Conference on*. pp. 1 - 5.
- [36] Percivall, G. (2000). "Overview of geographic information standards development". En: *Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings IGARSS 2000. IEEE 2000 International*. pp. 2096 - 2098.
- [37] Rao, A.; Percivall, G. y Enloe, Y. (2000). "Overview of the OGC catalog interface specification". En: *Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings IGARSS 2000. IEEE 2000 International*. Vol. 3. pp. 1211-1213.
- [38] Fan, H.; Feng, H. y Zhu, X. (2009). "Integration of Grid and OGC Compliant Services to Implement the Sharing and Interoperability of Multi-source and Heterogeneous Geospatial Data". En: *Geoinformatics, 17th International Conference on*. pp. 1 - 6.
- [39] Zhang, S.; Gan, J.; Miao, L.; Lv, G. y Huang, J. (2007). "Study on GML Spatial Interoperability based on Web Service". En: *Computer Software and Applications Conference. COMPSAC 2007. 31st Annual International*. Vol. 1. pp. 649 - 656.
- [40] Paul, M.; Ghosh, S.K.; y Acharya, P. (2006). "Enterprise Geographic Information System (E-GIS): A Service-based Architecture for Geo-spatial Data Interoperability". En: *2006 IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing*. pp. 229 - 232.
- [41] Mukherjee, I. y Ghosh S.K. (2010). "Fuzzy Spatial Web Services for Integrating Geo-Spatial Information from Heterogeneous Repositories". En: *Computer Technology and Development (ICCTD), 2nd International Conference on*. pp. 597-602.
- [42] Rui-Sheng, J.; Yan, J.; Sun, H. (2008). "Research on Distributed GIS Process Modeling and Integration". En: *Proceedings of 2008 IEEE International Symposium on IT in Medicine and Education*. 99. 33-38.
- [43] Shujun, D.; Liang, L. y Chengq, C. (2008). "Research on Geographical Information Service Based on SOA". *Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics Qingdao, China September*.
- [44] Feng, X. y Ling, J.Y. (2009). "User-driven GIS software reuse solution based on SOA and Web 2.0 concept," *iccst*, pp.5-9, *2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology*.
- [45] Zhang, M. y Liu, W. (2010). "Distributed interoperable GIS Data Services based on Web Services". En: *Information Management and Engineering (ICIME), The 2nd IEEE International Conference on*. pp. 140-143.
- [46] Kim, D-H.; Kim, K-S.; Choi, H. y Jong-Hun, K. (2001). "The Design and Implementation of Open GIS Service Component". En: *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2001. IGARSS '01. IEEE 2001 International*. Vol. 4. Pp.1922 - 1924.
- [47] Lu, X. (2005). "An Investigation on Service-Oriented Architecture for Constructing Distributed Web GIS Application". En: *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Services Computing (SCC'05)*. Vol. 1. pp. 191 - 197.
- [48] Amini, A.; Riahi, H.; Karimzadegan, D. y Vahdat, D. (2010). "GIS software architecture based on SOA concept and OGC standards". *Computer Engineering and Technology (ICCET), 2nd International Conference on*. pp. V4 424-431.
- [49] Ma, S.; Li, M. y Du, W. (2008). "Service Composition for GIS". En: *2008 IEEE Congress on Services - Part I*. pp. 168 - 175.
- [50] Luo, S.; Peng, X.; Fan, S. y Zhang, P. (2009). "Study on Computing Grid Distributed Middleware and Its Application". En: *Information Technology and Applications, 2009. IFITA '09. International Forum on*. Vol. 3. pp. 441 - 445.
- [51] Foster, I.; Kesselman, C. y Tueck, S. (2001). "The anatomy of the Grid: enabling scalable virtual organizations" En: *International Journal of Supercomputer Applications*. Vol. 15.No. 3. pp. 200-222.
- [52] Zhang, S.; Chen, X.; Zhang, S. y Huo, X. (2010). "The comparison between cloud computing and grid computing". En: *Computer Application and System Modeling (ICCASM), International Conference on*. Vol. 11.Pp. V11-72 - V11-75.
- [53] Al-Hader, M.; Rodzi, A.; Sharif, A.R. y Ahmad, N. (2009). "SOA of Smart City Geospatial Management". En: *Computer Modeling and Simulation. EMS '09. Third UKSim European Symposium on*. pp. 6-10.
- [54] Huang, F.; Liu, D.; Li, G. y Wang, J. (2009). "Preliminary Study on the Application of OGC Interoperability Specifications in Spatial Information Grid". En: *International Conference on New Trends in Information and Service Science*. pp. 515-520.