

## Representación del Conocimiento de la Información Geográfica siguiendo un Enfoque basado en Ontologías

Ana Carolina Tolaba <sup>1</sup>, María Laura Caliusco <sup>1</sup>, María Rosa Galli <sup>2</sup>

[atolaba@frsf.utn.edu.ar](mailto:atolaba@frsf.utn.edu.ar), [mcaliusc@frsf.utn.edu.ar](mailto:mcaliusc@frsf.utn.edu.ar), [mrgalli@santafe-conicet.gov.ar](mailto:mrgalli@santafe-conicet.gov.ar)

<sup>1</sup> CONICET – Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería en Sistemas de Información CIDISI UTN FRSF, Lavaise 610, S3004EWB, Santa Fe, Argentina.

<sup>2</sup> CONICET – INGAR Instituto de Desarrollo y Diseño, Avellaneda 3657, S3002GJC, Santa Fe, Argentina.

DOI: [10.17013/risti.14.101-116](https://doi.org/10.17013/risti.14.101-116)

**Resumen:** Actualmente el empleo de la información geográfica es inherente a muchos dominios de aplicación en diversas disciplinas. Dado el potencial de la información geográfica, ésta constituye una herramienta relevante para facilitar la toma de decisiones y la gestión de recursos. Existen estándares para la representación a través de modelos conceptuales de la información geográfica. Sin embargo, éstos presentan limitaciones tanto para incorporar expresividad semántica, ya que sólo consideran los aspectos técnicos; como para modelar adecuadamente aplicaciones que utilizan información geográfica, ya que no consideran todos los conceptos involucrados en el dominio geoespacial, sus características y relaciones. En este trabajo se presenta una meta-ontología que permite crear modelos semánticos enriquecidos capaces de representar y realizar inferencias sobre el conocimiento de la información geográfica.

**Palabras-clave:** Información Geográfica; Interoperabilidad; Meta-ontología; Conceptualización.

### *A Knowledge Representation of Geographic Information using an Ontologies-based Approach*

**Abstract:** Nowadays, the use of Geographic Information is inherent in many application domains in various disciplines. Given the potential of geographic information, it is an important tool to facilitate decision making and resource management. There are different standards for representation through conceptual models of geographic information. However, these have limitation for both incorporate semantic expressiveness, since only considered the technical aspect, to properly model applications that use geographic information, because they do not consider all the concepts involved in the geospatial domain, their characteristics and relationships. This paper presents a meta-ontology that creates rich semantic models able to represent and make inferences about the knowledge of geographic information.

**Keywords:** Geographic Information; Interoperability; Meta-Ontology; Conceptualization.

## 1. Introducción

Los Sistemas de Información Geográfica (GIS – Geographic Information Systems) tienen entre sus requerimientos la posibilidad de compartir datos e información geográfica (o información geoespacial, o georreferenciada, o datos geoespaciales). Los GIS tienen la capacidad de integrar datos geoespaciales y descriptivos. Dado el potencial de los datos geoespaciales estos constituyen una herramienta relevante para facilitar la toma de decisiones y la gestión de recursos (García-Rojas, Athanasiou, Lehmann, & Hladky, 2013).

Una característica importante de los datos geoespaciales es que pueden ser compartidos y utilizados para otros fines, además del que, para el cual originalmente se gestó (Asmat, 2008). Por esta razón es necesario abordar la problemática del intercambio de datos geoespaciales. Para ello se debe resolver el problema de heterogeneidad de los mismos. Existe una gran variedad de datos geoespaciales disponibles producidos por diferentes organizaciones con diferentes puntos de vista y vocabulario, las que a su vez trabajan sobre diferentes sistemas. Estos datos pueden ser utilizados por otras organizaciones en diferentes aplicaciones (Buccella, Cechich, & Fillotrani, 2009). Las fuentes de datos son heterogéneas en más de un sentido. Particularmente, las diferencias en la conceptualización del dominio entre las distintas fuentes de datos, redundan en diferencias de esquemas lógicos y en los términos que se emplean para definirlos. Esto es causado por los diferentes significados o interpretaciones de los datos de acuerdo al contexto, ya que cada diseñador realiza la abstracción del dominio de acuerdo a la realidad que lo circunscribe y para ello emplea los términos que su lenguaje y su conocimiento del dominio le permite utilizar. A estas diferencias se hace referencia cuando se habla de heterogeneidad semántica (Cruz & Xiao, 2005).

Por lo tanto, los conflictos más importantes que se precisan resolver a causa de la heterogeneidad semántica son (Torres, Quintero, Moreno, & Fonseca, 2005) (Ramos Gargantilla & Vilches Blázquez, 2011):

1. las diferencias en el nivel de abstracción con el que son modelados los datos en las distintas fuentes, y
2. las ambigüedades en el significado de los datos que se manejan, contenidos en las distintas fuentes.

Las últimas dos décadas han sido productivas en términos de desarrollo de estándares para resolver el problema de la heterogeneidad de la información geográfica. La comunidad geoespacial, a través de los órganos normativos, ha desarrollado un conjunto de especificaciones y/o estándares que: facilitan la comprensión y uso de la información geoespacial y aumentan la disponibilidad, el acceso, la integración y el intercambio de información espacial, permitiendo la interoperabilidad de los GIS (Bulens, de Groot, Krause, & Vanmeulebrouk, 2009). Sin embargo, a pesar de los esfuerzos por unificar criterios, estos estándares no han resuelto totalmente los

conflictos planteados anteriormente. Esto se debe principalmente a que los mismos no trascienden el ámbito técnico, por lo que no tienen en cuenta las cuestiones semánticas a nivel de aplicación (Cadena Martínez, Quintero Téllez, Moreno-Ibarra, Torres-Ruiz, & Guzman-Lugo, 2013).

Con el fin de resolver los problemas de heterogeneidad semántica se propone el uso de ontologías. Éstas proporcionan un lenguaje compartido común a nivel conceptual para representar la información incluida en las fuentes originales de información (Staab & Studer, 2009). Las ontologías permiten representar e inferir conocimiento, en un mismo modelo o representación, unificar criterios o conceptos originalmente sin relación alguna entre sí, dándoles a cada uno su lugar en la jerarquía del dominio del conocimiento que representan (Vilches Blázquez, Corcho, Rodríguez Pacual, & Bernabé Poveda, 2008).

En este trabajo se propone un enfoque basado en una meta-ontología geoespacial que permite crear modelos semánticos enriquecidos capaces de representar y realizar inferencias sobre el conocimiento de una aplicación GIS particular. Dicho enfoque está compuesto por una meta-ontología que conceptualiza un dominio geoespacial a través de la descripción semántica de los datos geoespaciales, una heurística para crear un modelo conceptual basado en dicha meta-ontología a partir de la realidad y una heurística para crear un modelo conceptual basado en dicha meta-ontología a partir de una base de datos espacial con el fin de atacar el problema de la heterogeneidad semántica.

## **2. Modelado Conceptual de la Información Geográfica**

### **2.1 Características del Modelo Conceptual de la información geográfica**

Los GIS en sí mismos son un modelo para representar la realidad que poseen dos tipos de componentes: uno espacial, en el cual se manejan la forma, el tamaño y la posición; y otro descriptivo (atributos), de orden tabular, en el cual se caracterizan unívocamente cada una de las entidades espaciales que conforman el modelo.

Las entidades geoespaciales pueden ser conceptualizadas mediante dos perspectivas de modelado diferentes (Shekhar & Xiong, 2008):

- Modelos basados en campos (geo-field): Tratan los datos geoespaciales como un conjunto de distribución continua, por ejemplo, altitud, precipitaciones, temperatura, topografía, pH del suelo, entre otros.
- Modelos basados en objetos (geo-objects): Tratan los datos geoespaciales como una población con objetos reconocibles (espaciales y no espaciales) que son discretos y referenciados espacialmente, por ejemplo, pozos, caminos, entre otros.

Parent et al. (Parent, Spaccapietra, & Zimányi, 2008) destacan algunas de las ventajas de la utilización de un modelo conceptual en aplicaciones que manipulan datos geoespaciales. Por un lado, los usuarios pueden expresar su conocimiento del sistema usando conceptos próximos a su realidad e independientes de los conceptos computacionales o técnicos. Por otra parte, como el modelado conceptual es

independiente de la implementación del sistema, el resultado de la modelización sigue siendo válido en el caso de los cambios tecnológicos.

El proceso de modelado conceptual debe incluir, la descripción y definición de posibles contenidos de los datos, así como las estructuras y reglas que se le aplican. Para el modelado de la información geográfica es necesario considerar los siguientes aspectos (Friis-Christensen, Tryfona, & Jensen, 2001):

- Propiedades espacio-temporales: incluyen los requisitos espaciales (coordenadas en un sistema de referencia, representación geométrica: puntos, líneas y polígonos), requisitos temporales (necesidad de registrar el tiempo de existencia y los cambios sufridos por un objeto) y otros atributos necesarios para la representación de los objetos.
- Roles: un mismo objeto geográfico puede definirse de diferentes maneras dependiendo del universo de discurso.
- Asociaciones: incluye las relaciones entre los objetos (por ejemplo de composición), relaciones topológicas (igualdad, encuentro, superposición).
- Restricciones: debe ser posible fijar límites a los valores de los atributos de los objetos. Las restricciones se asocian con la calidad de los datos, la cual se ve afectada negativamente cuando no se cumplen.
- Calidad de los datos: esta información es importante para conocer la credibilidad de la fuente y los datos.

## 2.2. Conflictos Semánticos en la Modelización del dominio geoespacial.

Con el propósito de entender los conflictos semánticos que se presentan a nivel de modelado conceptual de datos geográficos, nos basamos en un paradigma de cuatro niveles con una perspectiva humana propuesto en (Frederic Fonseca, Egenhofer, Agouris, & Câmara, 2002). En la Figura 1 se describen las cuatro etapas consideradas en el modelado de datos geográficos: Realidad (Objeto Geoespacial), Representación Cognitiva, Conceptualización (Modelado Conceptual) y Concretización (Modelado físico).

- *Realidad (Objeto Geoespacial)*: Está compuesta por diferentes objetos geoespaciales o fenómenos del mundo real que pueden ser adyacentes entre sí o coincidir espacialmente (Frederic Fonseca et al., 2002). Un objeto geoespacial describe las abstracciones de elementos del mundo real relativos a la superficie terrestre que están asociadas a una posición geográfica definida y a un sistema de referencia espacial (por ejemplo, edificio, río o ciudad). El objeto geoespacial es el punto de partida para el modelado de la información geoespacial.
- *Representación Cognitiva*: Es una vista abstracta y simplificada del mundo que se desea representar para algún propósito (Guarino, Oberle, & Staab, 2009). Es decir, representa el punto de vista, las ideas o pensamientos en la mente, de uno o de un grupo de individuos y cómo éstos interpretan la realidad (Smith, Kusnierczyk, Schober, & Ceusters, 2006). Cada persona puede interpretar de forma distinta a un mismo objeto geoespacial, debido a que las personas construyen su modelo mental concentrándose en los aspectos necesarios para resolver una determinada tarea. Por ejemplo, una persona

puede hacer una representación cognitiva de una ciudad de forma puntual o poligonal. Una ciudad, tendrá sentido considerarla poligonal en estudios de planificación urbana. En el dominio hidrológico la representación cognitiva se asocia a objetos lineales, por ejemplo los cauces o cursos de agua.

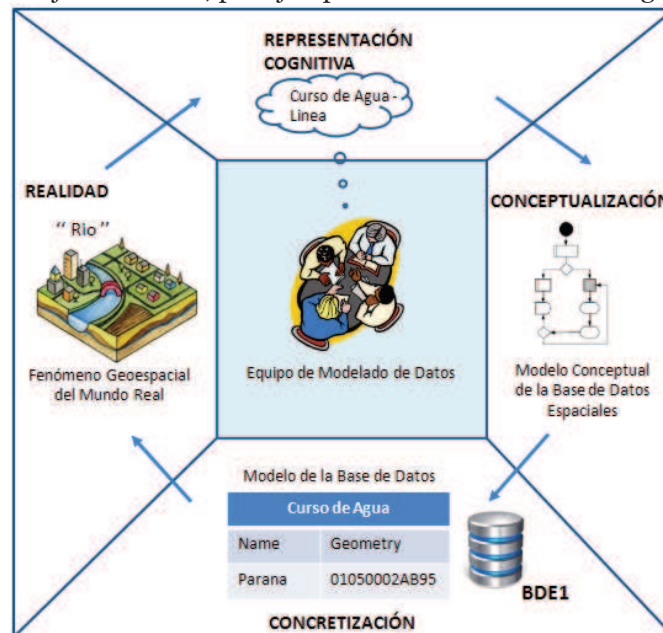


Figura 1 – Paradigma para el Modelado de Datos Geográficos.

- *Conceptualización (Modelado Conceptual):* Tiene como objetivo organizar y estructurar la representación cognitiva en un modelo conceptual que describa el problema y su solución en términos del vocabulario del dominio. En el contexto del modelado de datos geográficos, el modelo conceptual define la estructura de la información que se va a almacenar así como sus principales características (García Ruiz & Ojalvaro Arango, 2003). El modelo conceptual de un objeto geoespacial debe representar características y comportamientos de su realidad. Los objetos geoespaciales poseen tres características básicas: atributos, localización y topología (Wu, Xu, Wang, & Xu, 2011). Los atributos refieren a características de los objetos que permiten saber qué son. La localización, representada por la geometría del objeto y su ubicación espacial, permite saber dónde se ubica el objeto y qué espacio ocupa. La topología se define a través de relaciones espaciales y permite conocer la relación que tiene un objeto geoespacial con otro.
- *Concretización (Modelado Físico):* Permite representar de forma física los elementos especificados en el modelo conceptual. La concretización de los modelos conceptuales genera diversas formas de representación ocasionando heterogeneidad sintáctica y semántica en los datos representados. La heterogeneidad sintáctica se refiere a las diferencias en formatos y modelos de datos. La heterogeneidad semántica está presente cuando existe un desacuerdo en el significado, interpretación o uso previsto de los datos.

A partir de este paradigma, podemos observar los conflictos que se presentan en la modelización de la información geográfica. Por un lado, a nivel de modelado los diferentes productores de información producen información con diferentes niveles de granularidad, calidad y estructura debido a diferencias en el nivel de abstracción con el que son modelados los datos en las distintas fuentes. Por lo tanto, el modelado de datos geospaciales requiere de un lenguaje de modelado que permita construir modelos de datos más específicos y capaces de capturar la semántica de los objetos geospaciales (Frederico Fonseca, Davis, & Camara, 2003).

Por otra parte, a nivel de explotación de la información el empleo de bases de datos espaciales (BDE) con heterogeneidad debido a las ambigüedades o divergencias en el significado de los datos que manejan, hace que sea difícil para los usuarios descubrir conjuntos de datos y evaluar la utilidad de los mismos para sus tareas. Es necesario hacer explícitas características de las BDE y del dominio geoespacial de modo de poder interpretar e inferir el conocimiento sobre los objetos geospaciales almacenados.

### 3. Una meta-ontología geoespacial como propuesta de solución.

Las ontologías apoyan la creación de modelos conceptuales y ayudan con la integración de la información, ya que permiten identificar las estructuras y características mínimas de los datos (Staab & Studer, 2009). Particularmente en el área GIS, las ontologías se pueden utilizar como un enfoque para capturar conceptos universales y significativos que definan el dominio geoespacial.

Por lo tanto, para solucionar los problemas identificados en la sección anterior, tanto a nivel de modelado como a nivel de explotación de la información, se propone el empleo de una meta-ontología geoespacial (Figura 2).

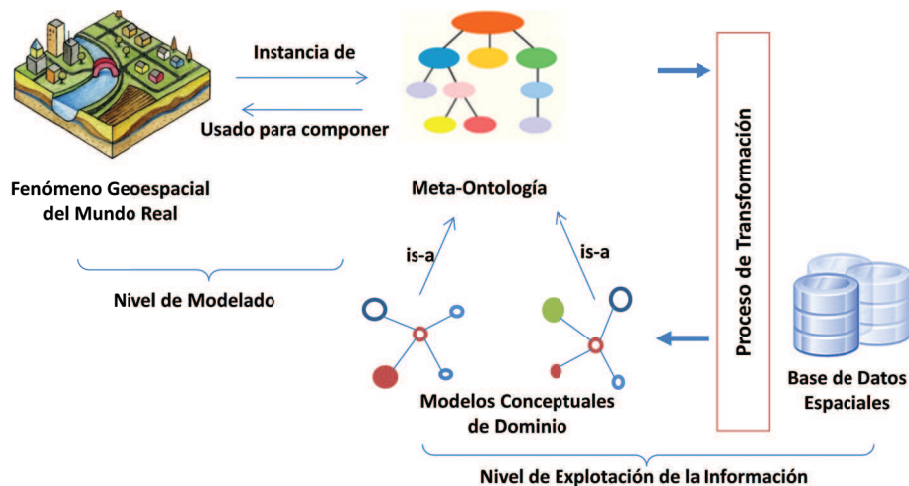


Figura 2 – Usos de la meta-ontología.

A nivel de modelado de los objetos geospaciales, es necesario establecer una relación entre la abstracción (idea que existe en la mente de los usuarios acerca de un objeto o

problema específico) y el modelo. La Meta-ontología geoespacial se propone para superar las limitaciones de los lenguajes de modelado y permitir a los usuarios describir mejor los objetos espaciales que están siendo modelados.

A nivel de explotación de la información, la Meta-ontología geoespacial se puede utilizar como un framework para ayudar a la construcción de modelos conceptuales de dominio a partir de la información almacenada en una Base de Datos Espacial (BDE).

### 3.1. Meta-ontología Geoespacial.

La Meta-ontología geoespacial propuesta se define como una 5-tupla *Meta-ontology* = {*C*, *R*, *A*, *X*, *I*} donde: *C* representa un conjunto de conceptos (class), *R* es el conjunto de relaciones entre los conceptos, *A* es el conjunto de atributos de los objetos identificados en el dominio, *X* es un conjunto de axiomas y reglas de los conceptos, relaciones y atributos e *I* es el conjunto de instancias.

La Meta-ontología geoespacial consta de los siguientes conceptos:

- *GeographicObject*: Representa un conjunto de objetos que tienen una representación espacial, y que pueden ser localizados empleando un sistema de coordenadas.
- *NonGeographicObjects*: Representa un conjunto de objetos con propiedades y relaciones, que pueden tener relaciones con objetos geográficos pero no tienen las mismas propiedades que estos.
- *Geometry*: Representa la geometría de todos los objetos geográficos. Se consideraron los conceptos propuestos por OGC (*Point*, *LineString*, *Polygon*, *Geometry Collection*, *MultiPoint*, *MultiLineString*, *MultiPolygon*).
- *SpatialReferenceSystem*: Se refiere a un sistema de coordenadas local, regional o global utilizado para localizar objetos geográficos. Este sistema de coordenadas es referenciado a la Tierra.
- *Location*: Permite la identificación de dónde los objetos se encuentran ubicados sobre la superficie. Estos pueden ser definidos por coordenadas que expresen su latitud y longitud.
- *Temporality*: Representa un conjunto de entidades que pueden asignar tiempo de validez, tiempo de transacción o tiempo de existencia.
- *Metadata*: Representa un conjunto de información estructurada que describe los datos. Proveen un resumen del contenido, propósito, calidad, localización de los datos e información sobre su creación.

Considerando la importancia de las relaciones espaciales y no espaciales para el entendimiento del modelado espacial, se identificaron las siguientes relaciones que caracterizan y que imponen restricciones a los objetos geográficos involucrados:

- *Explain Relationship*: Representa relaciones estructurales entre los diferentes objetos, tanto geográficos como no geográficos. Una relación explicativa es una relación semántica y referencial entre dos conceptos.
- *Geometry Relationship (hasGeometry)*: Se establece para representar la geometría del objeto geográfico.

- *Location Relationship (hasLocation)*: Se establece una relación, porque todos los conceptos geográficos tienen una geometría asociada y la geometría tiene un lugar en el espacio.
- *Spatial Reference Relationship (hasSpatialReference)*: Se establece para asociar un sistema de referencia a un objeto geográfico.
- *Topological Relationship*: Las relaciones topológicas se establecen entre las instancias de los objetos geográficos. Este tipo de relación incluye las siguientes relaciones: equalto, overlap, cross, meet.
- *Temporality Relationship (hasTemporality)*: Se establece para representar aspectos relacionados a la temporalidad del objeto geográfico.

Para poder inferir conocimiento que no se encuentra explícito en la taxonomía de los conceptos se establecieron axiomas, los cuales son:

- *Axiomas de Integridad*: Tienen como propósito restringir la definición de los conceptos y sus relaciones de modo que las definiciones de los términos de dominio se vuelvan más precisas. Estos axiomas se refieren al rango, existencialidad y cardinalidad de las relaciones. Ej. Todo objeto geográfico tiene asociada una geometría y un sistema de referencia.
- *Axiomas de Derivación*: Consisten en una o más condiciones y conclusiones. La conclusión es válida si y sólo si todas las condiciones se cumplen. Las relaciones topológicas pueden hacerse explícitas a través de axiomas de derivación. Ej. Dos puntos son iguales si y solo si tienen la misma longitud y latitud respectivamente.

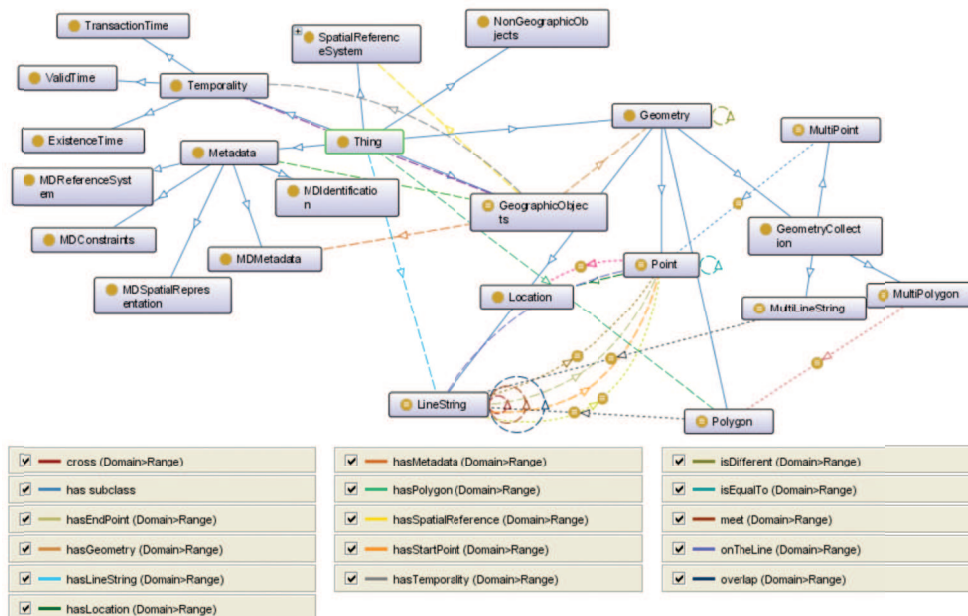


Figura 3 – Meta-ontología



La Meta-ontología geoespacial fue implementada en el lenguaje de ontología OWL 2. Las clases, relaciones y atributos fueron definidos utilizando el editor de ontologías Protégé (<http://protege.stanford.edu/>) (Figura 3).

Para la implementación de los axiomas de integridad se empleó OWL2 (Figura 4). Mientras que los axiomas de derivación fueron implementados mediante el uso del lenguaje SWRL (Semantic Web Rule Language) (Horrocks et al., 2004) (Figura 5). SWRL es un formalismo para la integración de reglas con las ontologías. SWRL extiende los axiomas de OWL para incluir reglas de Horn, manteniendo la máxima compatibilidad con la sintaxis y semántica actual de OWL.

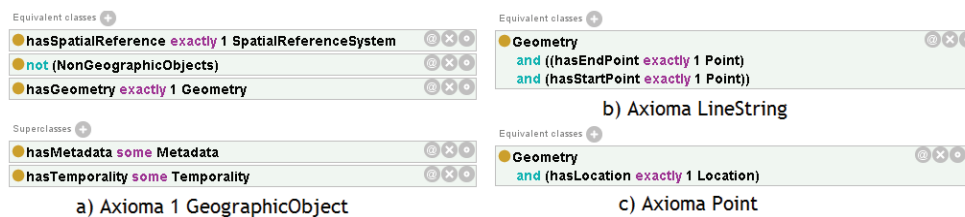


Figura 4 – Axiomas de integridad implementados en OWL



Figura 5 – Axiomas de derivación implementados en SWRL

Para garantizar que la meta-ontología es consistente se validó la definición de los conceptos y su jerarquía de modo de identificar posibles errores de integridad. Para realizar esta tarea se empleó el razonador Pellet (Clark & Parsia, n.d.), que es un plugin de Protégé compatible con el lenguaje OWL2 y con el lenguaje de definición de reglas SWRL.

### 3.2 Generación de un modelo basado en la Meta-ontología geoespacial a nivel de modelado de la información geográfica.

La Meta-ontología geoespacial permite describir el conocimiento acerca de las características necesarias para expresar el entendimiento de los objetos espaciales. Con

el fin de evitar la ausencia de conceptos y propiedades importantes, la Meta-ontología geoespacial puede sugerir qué términos pueden aparecer en el dominio de aplicación y cómo estos están relacionados a otros términos. Si una base de conocimiento de tales términos está disponible se podría procesar de manera automática y por lo tanto acelerar el proceso de diseño permitiendo obtener un resultado más relevante.

Para generar una ontología basada en la Meta-ontología geoespacial en la tarea de modelado conceptual de datos geoespaciales a partir de la realidad, se proponen las siguientes fases:

**Fase 1 Definición del objetivo o misión del sistema:** Se definen los requerimientos que se desean satisfacer. Para ello, se formulan preguntas de competencia en un lenguaje natural, que la ontología debe ser capaz de responder.

**Fase 2 Desarrollo del modelo basado en la Meta-ontología geoespacial:** Este proceso se refiere a la representación de los conocimientos asociados a las entidades del dominio. La Meta-ontología geoespacial propone una serie de primitivas que permiten construir el modelo de las aplicaciones geográficas considerando la perspectiva de modelado basado en objetos (geo-object). En la Meta-ontología geoespacial se especifican los conceptos, en conjunto con sus representaciones básicas y sus relaciones, además de restricciones de integridad espacial.

1. *Identificación de Objetos:* Los conceptos principales definidos por la Meta-ontología geoespacial permiten identificar los objetos geográficos y los convencionales o no geográficos. Los objetos que tienen una representación espacial y que son asociados a elementos del mundo real localizables en la tierra se definirán como conceptos dependientes del definido en la Meta-ontología geoespacial como *GeographicObject*. Ejemplo de esto son los objetos geográficos individualizables asociados a elementos del mundo real, como edificios, ríos, entre otros. Mientras que aquellos objetos con propiedades, que poseen alguna relación con los objetos geográficos pero no poseen propiedades geométricas dependerán del concepto *NonGeographicObject* de la Meta-ontología geoespacial. Estos objetos se encuentran presentes en cualquier sistema de información.
2. *Identificación de Aspectos Temáticos:* Los objetos pueden o no tener atributos espaciales asociados, estos se definirán como *datatype properties* de cada uno de los conceptos definidos.
3. *Identificación de Aspectos Espaciales:* Un objeto del mundo real puede tener diversas representaciones que pueden ser más simples o más elaboradas dependiendo de la percepción que el usuario tenga del objeto y de cómo esa representación afecta a las relaciones que pueden ser establecidas con otros objetos modelados. Los aspectos espaciales están relacionados con una geometría y con la localización de los fenómenos geográficos. La Meta-ontología geoespacial presenta un conjunto fijo de conceptos para la representación geométrica (*Point, LineString, Polygon y Geometry Collection* que indica la composición de las anteriores), además permite la representación de la localización del objeto geográfico a través de las propiedades de latitud y longitud.
4. *Identificación de Relaciones Espaciales y No espaciales:* Se realiza la identificación de las posibles relaciones observables en la realidad. La Meta-

ontología geoespacial representa los tipos de relaciones (*Relaciones explicativas, relaciones espaciales y relaciones topológicas*) que pueden ocurrir entre los conceptos definidos. Las relaciones explicativas representan las relaciones estructurales entre los conceptos geográficos y los no geográficos. Las relaciones espaciales y las topológicas representan las relaciones entre los conceptos geográficos.

**Fase 3 Evaluación del modelo basado en la Meta-ontología geoespacial.** La evaluación del modelo comprende la verificación de la ontología, tratando de asegurar que sus definiciones implementen los requisitos de manera correcta y la validación de la ontología, es decir, asegurarse que el significado de las definiciones representen verdaderamente el modelo real.

### **3.3. Generación de un modelo conceptual basado en la Meta-ontología geoespacial a partir de Bases de Datos Espaciales.**

A nivel de explotación de la información geográfica la Meta-ontología geoespacial permite la definición de modelos conceptuales de dominio, que representan la semántica de los datos geoespaciales almacenados en una BDE, a través de los procesos de transformación y creación de instancias. Para implementar la Meta-ontología geoespacial a partir de la información disponible en una BDE se proponen las siguientes reglas de transformación:

#### *3.3.1 Reglas para transformar tablas*

En una BDE se pueden identificar diferentes tipos de tablas. Cada una de estas tablas, pueden ser transformadas en diferentes elementos de la Meta-ontología geoespacial.

Una BDE basada en el Modelo de Datos Espacial del estándar OpenGIS (ISO, 2001) define un tipo de datos *geometry* que contiene la geometría del objeto y sus coordenadas. Las tablas que cuentan con el atributo *geometry* son tablas que describen objetos espaciales, por lo tanto, se convertirán en conceptos geográficos (*GeographicObject*). Pueden encontrarse otras tablas que son empleadas para describir el dominio de información. Estas tablas conformarán los conceptos no geográficos (*NonGeographicObject*).

Por lo tanto, las tablas que representan objetos espaciales en una BDE se transforman en conceptos geográficos en la ontología con el mismo nombre. Del mismo modo aquellas tablas que representan objetos no espaciales, que no tienen el atributo *geometry*, serán transformadas en conceptos no geográficos considerando aquellas tablas donde la clave primaria de la tabla no está formada únicamente por claves foráneas.

#### *3.3.2 Reglas para transformar columnas*

Los atributos de la información son almacenados en las tablas como columnas. Estos deben ser transformados a propiedades de los conceptos. Aquellos atributos que no forman parte de la clave foránea se corresponderán a los atributos (*datatype properties*) de la ontología con el mismo nombre que corresponde con la columna. El

dominio es el concepto creado por la tabla y el rango, el datatype de la columna de la tabla.

En el caso de los atributos espaciales, *geometry*, de un objeto espacial, dado a que no se corresponden con ningún tipo de dato estándar, como entero o cadena, se establece su representación mediante los conceptos de Geometría y Sistemas de Referencia.

Los atributos que pertenecen a la clave foránea (*Foreign key*) se transformarán en relaciones (*Object Properties*) de la ontología. Existe otro tipo de *Object Properties* que permiten definir las relaciones espaciales entre conceptos. Esta relación establece la relación entre un objeto que no tenga el atributo *geometry* en la tabla pero si este relacionado con un objeto espacial.

### 3.3.3 Reglas para transformar registros

Estas permitirán realizar un proceso de instanciación de la ontología consistente en el mapeo de tuplas almacenadas en una BDE como instancias de la ontología. El mapeo puede definirse como un conjunto de correspondencias orientadas en la que los elementos de las tuplas de la BDE aparecen en más de una oportunidad. La relación entre una tupla de la BDE y un conjunto de elementos de la ontología es la equivalencia, expresada como  $\langle id, bdee, oe \rangle$ . Donde *id* es el identificador de la equivalencia, *bdee* es el elemento de la BDE (tabla, columna, clave) identificada de acuerdo a su tipo y nombre y por último *oe* es el conjunto de elementos de la ontología que deben ser instanciados considerando las reglas definidas para la Meta-ontología geoespacial.

## 4. Trabajos relacionados.

Investigaciones realizadas en los últimos años, han sido capaces de crear o adaptar el modelo conceptual de datos para las aplicaciones geográficas (por ejemplo, extensiones de un modelo de entidad-relación ER, o Unified Modeling Language UML). En base a estos enfoques, han sido estudiadas diferentes propuestas para representar y gestionar datos geoespaciales, principalmente aplicaciones geográficas con diferentes propósitos y en diferentes campos de aplicación (Belussi, Catania, Clementini, & Ferrari, 2007).

OMT-G (Object Modeling Technique para aplicaciones geográficas) (Borges, Davis, & Laender, 2001) es un modelo de datos que adopta el enfoque de los conceptos y notación UML para modelar aplicaciones geográficas. Proporciona constructores conceptuales que permiten modelar las relaciones espaciales incluyendo la agregación espacial. Este modelo ofrece primitivas que proporcionan los medios para el modelado de la geometría y topología de datos geográficos. Por lo tanto, supera las limitaciones de los modelos tales como ER. Sin embargo, algunas propiedades espaciales y restricciones de integridad de los datos no se pueden modelar utilizando OMT-G, por ejemplo, la agregación y la conectividad.

GeoUML (Sistemi Informatici, 2004) fue desarrollado para modelar conceptualmente el dominio geográfico y adhiere a la norma ISO relacionada a la información geográfica (ISO TC211). GeoUML proporciona un conjunto de constructores que representan las restricciones de integridad espacial y conjuntos predefinidos de clases que mejoran la comprensibilidad de los diagramas.

GEOPROFILE (Lisboa-Filho, Sampaio, Nalon Ribeiro, & Borges, 2010) fue propuesto para el modelado conceptual de datos del dominio geográfico y reúne las principales características de los modelos conceptuales existentes de datos geoespaciales. GEOPROFILE considera los principales requisitos para aplicaciones geográficas y utiliza la función actual de los modelos de datos conceptuales. Sin embargo, no se consideran los requisitos relacionados con los roles y los metadatos.

Por otra parte, existen diferentes trabajos en los que se proponen la incorporación de semántica a los GIS a través del empleo de ontologías. Buccella (Buccella & Cechich, 2007) propone una arquitectura y un proceso para la integración de fuentes geográficas basado en tareas lógicas y no lógicas. Las tareas lógicas se emplean para calcular inferencias de la semántica de los datos mediante ontologías. Las tareas no lógicas apuntan a encontrar similitudes basadas en análisis sintácticos y estructurales de los datos geográficos. Esta propuesta es considerada a nivel de esquema, es decir tiene en cuenta sólo las estructuras de los datos y no las instancias de los conceptos.

Oliva Santos (Oliva Santos, Maciá Pérez, & Garea Llano, 2010) presenta un modelo de integración entre datos, metadatos y conocimiento geográfico. El modelo se conforma considerando un modelo de persistencia para la integración de la información y un modelo de gestión como una capa de abstracción del modelo de persistencia. Los autores plantean la necesidad de un mecanismo para la integración y recuperación de la información. Si bien en este trabajo se muestra un modelo que emplea las ontologías como estructura de integración y representación formal de conocimiento, no se especifican las características de las ontologías existentes a considerar para lograr la integración.

Tabla 1 – Comparación entre Requerimientos y Modelos

Requerimiento	GeoUML	OMT-G	Geo Profile	Meta-ontología geoespacial
<i>Objetos Convencionales y Objetos Geográficos</i>	Parcial.	Si	Si	Objetos del mundo real: Geográficos y No Geográficos. Metadatos
<i>Localización y Extensión Espacial</i>	Geometría	Si	Si	Geometría, Sistema de Referencia y Localización
<i>Extensión Espacial Compleja</i>	-	Si	Si	Multilíneas, Multipuntos y Multipolígonos.
<i>Aspecto Temporal</i>	-	-	Si	Tiempos de Validez, Existencia y Transacción.
<i>Restricciones</i>	Restricciones estructurales	Restricciones de Integridad	-	Axiomas de Integridad y Derivación.
<i>Relaciones</i>	Espacial	Convencionales y Topológicas	Convencionales y Topológicas	Convencionales, Espacio temporales y Topológicas (SWRL).

Vilches Blázquez (Vilches Blázquez, 2011) propone una metodología basada en ontologías de información de bases de datos heterogéneas en el dominio geográfico. Si bien esta metodología indica la construcción de recursos ontológicos se caracteriza por estar limitada al dominio hidrográfico.

A pesar de que los trabajos mencionados anteriormente representan un avance en el área, estas propuestas definen frameworks basados en ontologías que no especifican un proceso para la construcción de ontologías a partir de la información almacenada, por ejemplo en las bases de datos espaciales. Además, no consideran características particulares de los objetos espaciales como las relaciones topológicas. En la Tabla 1 se muestra la comparación de los enfoques existentes y la Meta-ontología geoespacial en función de los requerimientos de modelado de la información geoespacial.

## 5. Conclusiones

El uso de GIS constituye una herramienta de ayuda para el análisis de datos espaciales. La caracterización de la información geográfica es una necesidad de las comunidades GIS, especialmente para el intercambio de información. En este trabajo se propuso un enfoque basado en una Meta-ontología geoespacial que permite representar y realizar inferencias sobre el conocimiento de la información geográfica. La Meta-ontología geoespacial proporciona primitivas para modelar las características de los datos geográficos de modo de hacer más sencillo el modelado de aplicaciones geográficas. Esto se debe a que busca satisfacer los requerimientos identificados para el modelado de la información geográfica. Con el empleo de la Meta-ontología geoespacial es posible representar los aspectos particulares de los datos geográficos, independientemente del campo de aplicación.

La Meta-ontología geoespacial propuesta en el presente trabajo, a diferencia de las propuestas anteriores, plantea la conceptualización del dominio geoespacial a través de descripción semántica para el tratamiento de la heterogeneidad de los datos geoespaciales. La conceptualización mediante el empleo de la Meta-ontología geoespacial permite, en un mismo modelo, representar e inferir conocimiento a partir de un conjunto de reglas que hacen explícitas propiedades semánticas que se encuentran implícitas en los datos espaciales.

## Referencias bibliográficas

- Asmat, A. (2008). Potential of Public Private Partnership for NSDI Implementation in Pakistan. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation Enchede.
- Belussi, A., Catania, B., Clementini, E., & Ferrari, E. (2007). Spatial Data on the Web: Issues and Challenges. In A. Belussi, B. Catania, E. Clementini, & E. Ferrari (Eds.), *Spatial Data on the Web SE - 1* (pp. 1–12). Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-540-69878-4\_1
- Borges, K. A. V., Davis, C. A., & Laender, A. H. F. (2001). OMT-G: An Object-Oriented Data Model for Geographic Applications. *GeoInformatica*, 5(3), 221–260. doi:10.1023/A:1011482030093

- Buccella, A., & Cechich, A. (2007). Towards Integration of Geographic Information Systems. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science (ENTCS)*, 168, 45–49. doi:10.1016/j.entcs.2006.08.023
- Buccella, A., Cechich, A., & Fillostrani, P. (2009). Ontology-driven geographic information integration: A survey of current approaches. *Computers & Geosciences*, 35(4), 710–723. doi:10.1016/j.cageo.2008.02.033
- Bulens, J., de Groot, H., Krause, A., & Vanmeulebrouk, B. (2009). OGC standards in daily practice: gaps and difficulties found in their use. In *GSDI 11 World Conference Spatial Data Infrastructure Convergence: Building SDI Bridges to address Global Challenges*. Rotterdam: Global Spatial Data Infrastructure.
- Cadena Martinez, R., Quintero Téllez, R., Moreno-Ibarra, M., Torres-Ruiz, M., & Guzman-Lugo, G. (2013). Comparación Semántica de Conjuntos de Datos Geográficos Conceptualizados por Medio de Ontologías. *Computación Y Sistemas*, 7(4), 569–681. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-55462013000400010&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-55462013000400010&nrm=iso)
- Clark, K., & Parsia, B. (n.d.). Pellet: Owl 2 reasoner for java. Retrieved April 01, 2014, from <http://clarkparsia.com/pellet/>
- Cruz, I. F., & Xiao, H. (2005). The Role of Ontologies in Data Integration. *International Journal of Engineering Intelligent Systems for Electrical Engineering and Communications*, 13(4), 245–252.
- Fonseca, F., Davis, C. A., & Camara, G. (2003). Bridging Ontologies and Conceptual Schemas in Geographic Information Integration. *Journal Geoinformatica*, 7(4), 355–378. doi:10.1023/A:1025573406389
- Fonseca, F., Egenhofer, M., Agouris, P., & Câmara, G. (2002). Using Ontologies for Integrated Geographic Information Systems. *Transaction in GIS*, 6(3), 231–257. doi:10.1111/1467-9671.00109
- Friis-Christensen, A., Tryfona, N., & Jensen, C. S. (2001). Requirements and research issues in geographic data modeling. In *Proceedings of the ninth ACM international symposium on Advances in geographic information systems - GIS '01* (pp. 2 – 8). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/512161.512164
- García Ruiz, L. A., & Otalvaro Arango, D. M. (2003). *Diseño de un modelo de datos geográfico que soporte la gestión en organizaciones ambientales*. Universidad de Antioquia.
- García-Rojas, A., Athanasiou, S., Lehmann, J., & Hladky, D. (2013). GeoKnow: Leveraging Geospatial Data in the Web of Data. In *Open Data on the Web Workshop*.
- Guarino, N., Oberle, D., & Staab, S. (2009). What Is an Ontology? In S. Staab & R. Studer (Eds.), *Handbook on Ontologies* (pp. 1–17). Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-540-92673-3\_0

- Horrocks, I., Patel-Schneider, P. F., Boley, H., Tabet, S., Grosoft, B., & Dean, M. (2004). *SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML*. Retrieved from <http://www.w3.org/Submission/SWRL/>
- ISO, I. S. O. (2001). ISO/TC 211 19125-2. Simple Feature Access - Part 2:SQL Option.
- Lisboa-Filho, J., Sampaio, G., Nalon Ribeiro, F., & Borges, K. A. V. (2010). GEOPROFILE: UML profile for conceptual modeling of geographic databases. In *Domain Engineering Workshop CAiSE 2010* (pp. 1–14).
- Oliva Santos, R., Maciá Pérez, F., & Garea Llano, E. (2010). Esquema de un Modelo de Integración de Datos, Metadatos y Conocimiento Geográfico. In *VII Jornadas para el Desarrollo de Grandes Aplicaciones de Red JDARE*.
- Parent, C., Spaccapietra, S., & Zimányi, E. (2008). Modeling and Multiple Perceptions. In *Encyclopedia of GIS SE - 805* (pp. 682–690). Springer US. doi:10.1007/978-0-387-35973-1\_805
- Ramos Gargantilla, J. Á., & Vilches Blázquez, L. M. (2011). Conflación semántica sobre Linked Data. In *XIV Conferencia de la Asociación Española para la Inteligencia Artificial (CAEPIA2011)*. La Laguna, España.
- Shekhar, S., & Xiong, H. (Eds.). (2008). *Encyclopedia of GIS*. Boston, MA: Springer US. doi:10.1007/978-0-387-35973-1
- Sistemi Informatici, C. I. (2004). *Il Modello Concettuale GeoUML Specifica Formale in UML*. Retrieved from <http://www.intesagis.it>
- Smith, B., Kusnierczyk, W., Schober, D., & Ceusters, W. (2006). Towards a Reference Terminology for Ontology Research and Development in the Biomedical Domain. In *2nd Int. Workshop on Formal Biomedical Knowledge Representation: Biomedical Ontology in Action* (pp. 57–66).
- Staab, S., & Studer, R. (Eds.). (2009). *Handbook on Ontologies*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Torres, M., Quintero, R., Moreno, M., & Fonseca, F. (2005). Ontology-Driven Description of Spatial Data for Their Semantic Processing. In *GeoSpatial Semantics* (pp. 242–249). Springer Berlin Heidelberg.
- Vilches Blázquez, L. M. (2011). *Metodología para la integración basada en ontologías de información de bases de datos heterogéneas en el dominio hidrográfico*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Vilches Blázquez, L. M., Corcho, Ó., Rodríguez Pacual, A. F., & Bernabé Poveda, M. A. (2008). Web Semántica e Información Geográfica: Una interrelación necesaria ante las problemáticas actuales. *Revista Mapping*, (125), 76 – 81.
- Wu, K., Xu, X., Wang, X., & Xu, Y. (2011). A Method for Modeling Power Spatial Data Based on Object-Relational Model. In Y. Zhou (Ed.), *International Conference on Computer Science and Information Technology ICCSIT*. Chengdu, China.