

# Cohesión entre Ontologías: una técnica para medir integración semántica

María Mercedes Vitturini<sup>1</sup>, Pablo Rubén Fillotranni<sup>1,2</sup>,

<sup>1</sup> Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Ingeniería de Software y Sistemas de Información (LISSI) – Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación, Universidad Nacional del Sur. Avenidad Alem 1253 Bahía Blanca, Argentina

<sup>2</sup> Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC)  
{mvitturi, prf}@cs.uns.edu.ar

**Abstract.** Multiple SIG ontologies are accessible on the Web. Beside, each application has its own data model or application ontology. Ontology mapping could provide a common layer from which several ontologies could exchange information in a semantically manners. In this article we present a new technique that could collaborate with measuring cohesion among ontologies and could anticipate the integration result of these.

**Keywords:** Ontology, ontology integration, interoperability, SIG.

## 1 Introduction

Las aplicaciones con *Información Geográfica* (IG) cubren una variedad de tipos de sistemas: Sistemas de Información Geográficos (SIG)<sup>1</sup>, Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE)<sup>2</sup> y Sistemas Móviles Basados en Localización (LBMS)<sup>3</sup>. Entre sus clientes incluyen a empresas privadas, organismos nacionales e internacionales y de investigación y educación. La IG en general es voluminosa, con estructura compleja y suele estar distribuida y clasificada por temas en diversos servidores. Uno de los principales costos de implementación de una aplicación SIG es la adquisición de datos geográficos cuando no se dispone de ellos. En muchos casos, la IG de algún tópico específico, como por ejemplo “rutas y caminos”, existe en algún desarrollo previo. Contar con la posibilidad de compartir datos y servicios implica disminuir costos y tiempos de puesta en funcionamiento, así como optimizar la confiabilidad de la información.

A través de los años varios problemas se han enfrentado con la necesidad de compartir y reutilizar el conocimiento adquirido sobre un dominio. La Web Semántica se vincula con la noción de interoperabilidad [7,8,11]. Se pretende disponer en la Web de conocimiento no ambiguo que además pueda ser interpretado por agentes automáticos. En particular, existe la necesidad de disponer de una Web

---

<sup>1</sup> En Inglés *Geographic Information System* (GIS)

<sup>2</sup> En Inglés *Spatial Data Infrastructure* (SDI)

<sup>3</sup> En Inglés *Local Based Mobile System* (LBMS)

Semántica Geoespacial [4], basada en un marco que comprenda diversas ontologías espaciales temáticas. Compartir IG requiere encontrar alguna solución a los problemas relacionados con la heterogeneidad de la misma para que los datos sean procesados e interpretados por sistemas remotos. La integración semántica basada en ontologías supone contar con ontologías mediadoras de la comunicación entre sistemas. Para la mediación se necesitan alinear las semánticas de dichas ontologías. Esta tarea será efectiva en la medida que los conceptos de ellas resulten comparables. En este trabajo se propone una técnica simple basada en relaciones de conjuntos de conceptos que permite anticipar la efectividad del proceso de comunicación.

## 2 Heterogeneidad de información geográfica

Por años, cada nuevo desarrollo SIG además de sus modelos conceptuales, definió sus propios modelos de representación y almacenamiento de datos espaciales. La diversidad de formatos de IG implica problemas de interoperabilidad entre SIG's.

### 2.1 Contexto

Se denomina IG a la información que incluye datos espaciales georreferenciados, esto es, vinculados con uno o varios puntos sobre la superficie terrestre. La IG se caracteriza por su volumen y estructura intrínsecamente compleja.

Dato geográfico es una abstracción que corresponde con un objeto del mundo real, por ejemplo una ruta, un edificio, una zona agrícola, etc., representado en forma digital. Cada uno estos objetos recibe el nombre de *fenómeno geográfico* [10]. Cada fenómeno es único y distinguible. La abstracción que representa al conjunto de fenómenos geográficos de una misma clase se denomina *tipo de fenómeno*. Un tipo de fenómeno caracteriza los atributos y relaciones de los fenómenos reales que modela. Los atributos de un tipo de fenómeno se organizan en atributos temáticos y atributos espaciales. El componente espacial mantiene la referencia a la superficie terrestre. El componente temático tiene que ver con la descripción de las entidades. El modelo geográfico eventualmente también incluye la definición de relaciones geométricas y/o topológicas entre fenómenos. Las propiedades métricas de los objetos geográficos incluyen longitud y superficie (depende de la dimensión del objeto) y relaciones métricas entre objetos como distancia y orientación. La topología hace referencia a propiedades de vecindad, adyacencia, inclusión y conectividad, que permanecen invariantes a cambios morfológicos, de escala o de proyección.

### 2.2 Niveles de heterogeneidad para datos geográficos

Dadas dos representaciones para un problema geográfico entre ellas se distinguen los siguientes tipos de heterogeneidades [10,13]:

- *Heterogeneidad sintáctica*: distintas soluciones ofrecen diferentes formatos y modelos de representación del espacio (vector y mosaico) y hasta distintos sistemas de coordenadas para representar fenómenos idénticos.

- *Heterogeneidad estructural*: se refiere a la forma que cada solución elige para representar a los mismos fenómenos. En general es de esperar que existan diferencias a nivel de estructura.
- *Heterogeneidad semántica*: se establece cuando las distintas soluciones interpretan significados distintos para los mismos fenómenos.

La Tabla 1 ejemplifica las distintas heterogeneidades. La solución a los problemas de heterogeneidad de IG motiva investigaciones en el área de Ciencias de la Computación.

**Tabla 1** – Ejemplos de heterogeneidad sintáctica, estructural y semántica

<b>Ejemplos de Heterogeneidades con Datos Geográficos</b>		
<b>Heterogeneidad</b>	<b>Aplicación A<sub>1</sub></b>	<b>Aplicación A<sub>2</sub></b>
<i>Sintáctica</i>	A <sub>1</sub> representa las zonas por densidad de población de Bahía Blanca bajo el modelo espacial vector.	A <sub>2</sub> representa las zonas por densidad de población de Bahía Blanca bajo el modelo espacial mosaico.
<i>Estructural</i>	A <sub>1</sub> representa las zonas por densidad de población de Bahía Blanca, con detalle sobre la distribución de servicios públicos.	A <sub>2</sub> representa las zonas por densidad de población de Bahía Blanca, con detalle sobre el tipo de construcción (edificios, barrios cerrados, etc.).
<i>Semántica</i>	A <sub>1</sub> representa las zonas por densidad de población de Bahía Blanca, utilizando como unidad de medida número de habitantes.	A <sub>1</sub> representa las zonas por densidad de población de Bahía Blanca, utilizando como unidad de medida número de unidades familiares.

### 3 Propuestas para la integración de información geográfica

Las investigaciones para avanzar en integración de IG se encaminan en dos sentidos. Por un lado, se trabaja en definir estándares que normalicen los modelos de representación para los datos espaciales. Por otra parte, la solución para las diferencias semánticas generalmente se vincula con la definición de ontologías que provean especificaciones formales. Definir reglas de integración es posible sólo si se conoce el significado de los datos.

#### 3.1 Estándares geográficos

Sobre los de estándares internacionales para datos y servicios geográficos se ocupan fundamentalmente el consorcio Open Geospatial Consortium (OGC)<sup>4</sup> [11] y el comité Técnico de normalización sobre Geomática e Información Geográfica ISO/TC 211<sup>5</sup> [8]. OGC es un consorcio internacional donde participan representantes de compañías, agencias gubernamentales y universidades. Cuenta con un proceso consensuado para desarrollar especificaciones de interfaces de código abierto aplicables a sistemas de geo procesamiento. Los resultados de OGC se denominan

<sup>4</sup> <http://www.opengeospatial.org/>

<sup>5</sup> <http://www.isotc211.org/>

*Especificaciones OpenGIS* y proveen soluciones interoperativas para hacer “geo-disponible” a la IG. La misión del OGC es conducir hacia desarrollos que promuevan el uso de arquitecturas que permitan la integración de aplicaciones geográficas.

Por su parte, la Organización Internacional de Estándares (ISO) creó al comité Técnico para normalización en Geomática e Información Geográfica ISO/TC 211 que se ocupa de definir normativa de referencia para IG digital y transferencia de datos y servicios. La familia ISO 19100 constituye un conjunto de normas relacionadas con fenómenos geográficos. Estas normativas tratan sobre los métodos, herramientas y servicios para la gestión, adquisición, procesamiento, análisis, acceso, presentación y transferencia de IG en formato digital entre diferentes usuarios, sistemas y localizaciones.

Los miembros de OGC además participan en ISO/TC 211 a través del Consejo Consultivo Conjunto ISO/TC211-OGC. Su misión es coordinar los esfuerzos de ambos organismos y asegurar una única norma de referencia.

### 3.2 Modelos Ontológicos

Las ontologías unifican la interpretación de *conceptos* o términos de forma tal que dicha interpretación sea única [6]. Esta afirmación es válida entre personas así como también si en la comunicación participan agentes automáticos. Las comunicaciones personales pueden resolver la heterogeneidad semántica causada por conceptualizaciones diferentes, terminologías, contexto o información incompleta. Por ejemplo, la relación superconcepto/subconcepto entre elementos cotidianos es claramente comprendida por las personas. Sin embargo, esta relación no es trivial para los algoritmos de búsqueda disponibles que se basan en encontrar coincidencias de términos en los esquemas y los datos.

La tarea de una ontología es proveer la especificación formal de los conceptos y sus relaciones. La Figura 1 presenta un ejemplo simple de especificación ontológica de conceptos y relaciones. La notación utilizada es la propuesta por UML. En el ejemplo se distinguen las *clases* (en color), que definen las propiedades comunes a los elementos del mismo tipo, e *instancias* (en blanco) que representan a un concepto concreto, ejemplar o instancia. Se puede observar una relación de jerarquía entre las clases FUENTE DE AGUA DULCE y RÍO especificada por la asociación distinguida *es un*. Otras asociaciones del ejemplo son: *desemboca*, que especifica que las instancias de RÍO *desembocan en* instancias de OCÉANO y *termina* para representar la LOCALIDAD donde *termina* RÍO. La vinculación entre las instancias y su respectiva clase o asociación está representada con la dependencia estereotipada <<*instantiate*>>. Contar con ésta definición hace posible obtener las siguientes conclusiones básicas:

1. El Río Negro es un RÍO.
2. Atlántico es un OCÉANO.
3. Viedma es una LOCALIDAD.
4. El Río Negro *desemboca* en el Atlántico.
5. El Río Negro *termina* en Viedma.

Y las siguientes conclusiones implícitas más elaboradas:

1. El Río Negro *es una* FUENTE DE AGUA DULCE.
2. Viedma *está próxima* al Atlántico.
3. Viedma *cuenta con* una FUENTE DE AGUA DULCE.

Lo atractivo de contar con la representación explícita de las instancias junto con el modelo vinculante es que a estas conclusiones podría arribar un agente automático, tal como si comprendiera o razonara.

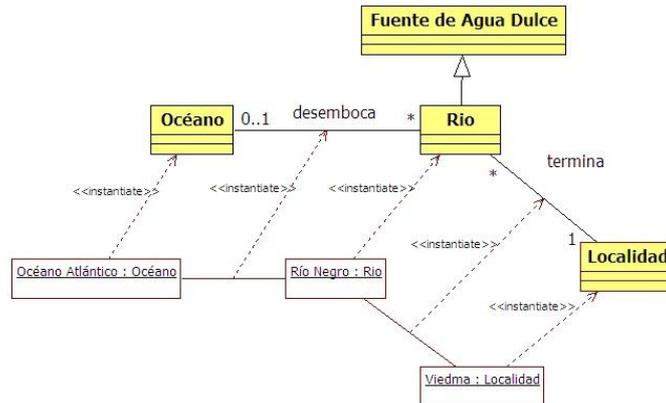


Figura 1 – Instanciación Fenómeno-Ontología

### 3 Modelo de Arquitectura de Integración basado en Ontologías

Como se mencionó, encontrar y recuperar eficientemente IG heterogénea distribuida es un factor clave. Los estándares favorecen la interoperabilidad y la clasificación de IG por catálogo. Sin embargo, las dificultades a causa de heterogeneidades semánticas constituyen aún un desafío en integración de IG en entornos abiertos distribuidos.

En el campo ontológico, existen diversas ontologías, construidas para diferentes dominios de aplicación y entre ellas difieren en el nivel de detalle que expresan. Una manera de organizarlas según su grado de generalidad es [1,13]:

- *Ontologías genéricas (Top-Level)*, capturan conocimiento de propósito general, en general independiente de un dominio particular, por ejemplo espacio, el tiempo, evento, acción, etc. Se espera que estas ontologías sean adoptadas por una amplia comunidad de usuarios.
- *Ontologías de dominio y ontologías de tarea*, definen el conocimiento usado por un dominio (medicina, geografía) o por una actividad específica (comercio) describiendo su vocabulario mediante la especialización de los términos introducidos en la ontología de alto nivel.
- *Ontologías de Aplicación*, capturan el conocimiento necesario de un sistema o aplicación específica. Describen conceptos que dependen tanto del dominio como de la actividad, los cuales frecuentemente son especializaciones de ambas ontologías anteriores.

Las alternativas para sistemas de integración semántica basados en ontologías se organizan en diversos estilos [2,13]. Un estilo considera una única ontología compartida por todas las aplicaciones. Otro estilo define múltiples ontologías junto con las funciones de integración entre pares. Una opción más flexible considera combinar los dos estilos anteriores. Esta última propuesta de integración basada en

*ontología híbrida* establece una ontología de dominio  $OD$  compartida por una comunidad que provee la definición de sus términos básicos (primitivas). La ontología híbrida asume que la semántica de sus primitivas es conocida y comprendida por su comunidad. Independientemente, cada proveedor es libre de definir su ontología de aplicación  $OSIG_i$ . De hecho el modelo de datos de una solución SIG cumple el rol de ontología de aplicación. Se requiere establecer la interfaz de comunicación o “mapeo” entre la ontología  $OD$  y las ontologías  $OSIG_i$ . Bajo este estilo de integración se provee de un marco flexible que respeta ontologías de aplicación que se ajusten a cada necesidad, mientras que al mismo tiempo las distintas ontologías  $OSIG_i$  resultan comparables [1], lo que es crucial al momento de realizar búsquedas semánticas o requerir servicios de integración de información.

#### 4 Cohesión entre modelos ontológicos

Siguiendo un estilo de integración semántica basado en ontología híbrida, cada aplicación es libre de usar su ontología de aplicación o modelo de datos  $OSIG_i$ . Un  $OSIG_i$  eventualmente podría estar compartido por más de una aplicación, como es el caso de SIG distribuidos que comparten su modelo de datos. En el próximo nivel de generalidad se define la ontología  $OD$ . En el caso específico de aplicaciones geográficas, las  $OD_k$  se corresponden con temas, como por ejemplo “uso del suelo”. La propuesta de integración supone la existencia de  $OD$  consensuadas. Cada SIG es responsable de formalizar su esquema de aplicación  $OSIG_i$  bajo el estándar GFM<sup>6</sup> [9] y de definir la función de mapeo  $m(OSIG_i) \rightarrow OD$ .

De esta manera, el problema de resolver heterogeneidad semántica entre soluciones se traslada a definir la función de mapeo  $m(OSIG_i) \rightarrow OD$ , con la ventaja de contar con la formalización de los conceptos por tratarse de ontologías. Sin embargo, la efectividad del mapeo y así el resultado de la integración dependerá del grado de cohesión entre el mundo modelado por la  $OD$  y el mundo modelado por  $OSIG_i$ .

En este trabajo se propone una técnica para medir el grado de interrelación o cohesión entre  $OD$  y  $OSIG_i$ . En particular, interesa medir la cohesión entre los conceptos definidos por  $OSIG_i$  y los conceptos de  $OD$ . Para avanzar en rigurosidad se presenta la siguiente definición [12]: sea  $C_{SIG}$  el conjunto de los conceptos definidos por la ontología  $OSIG_i$  y  $C_{OD}$  el conjunto de conceptos definidos por la ontología  $OD$ , es posible aproximar el grado de cohesión entre la aplicación y la ontología de dominio formalizando primeramente las siguientes relaciones de pertenencia entre conjuntos:

1.  $C_{SIG} \subset C_{OD} \wedge |C_{SIG}| \approx |C_{OD}|$ , presenta la situación de máxima cobertura por parte de la ontología de dominio y con alta precisión. Representa la relación óptima entre los conceptos  $OD$  y  $OSIG_i$ . La ontología de dominio cubre los conceptos requeridos por la aplicación. Se puede afirmar que  $OD$  contiene las definiciones semánticas requeridas y su semántica aproxima y hasta equivale con el problema. Por ejemplo supongamos que  $C_{OD}$  define al concepto LOCALIDAD mientras que  $C_{SIG}$  provee la definición para al concepto CIUDAD. Todos los

<sup>6</sup> Modelo de Fenómeno General. En Inglés *General Feature Model* (GFM)

elementos *ciudad* del conjunto  $C_{SIG}$  están cubiertos por el concepto LOCALIDAD y su definición semántica es próxima.

2.  $C_{SIG} \subset C_{OD} \wedge \neg(|C_{SIG}| \approx |C_{OD}|)$ , se presenta como una situación de máxima cobertura, pero de baja precisión. La relación entre los conceptos de la ontología de dominio y los conceptos de la aplicación se puede definir como "buena". También en este caso  $OD$  cubre los conceptos requeridos por la aplicación. Sin embargo, el contenido semántico no es tan próximo al contenido semántico requerido por el SIG y potencialmente el mapeo será menos preciso. Por ejemplo  $C_{OD}$  define como concepto ESPECIE mientras que  $C_{SIG}$  considera ESPECIE AUTÓCTONA. Es de esperar que la caracterización para ESPECIE AUTÓCTONA provista por  $OSIG_i$  sea más precisa que la caracterización del concepto ESPECIE provisto por  $C_{OD}$ .
3.  $C_{OD} \subset C_{SIG}$ .  $OD$  no cubre al universo de conceptos requeridos por la aplicación mientras que  $OSIG_i$  si cubre a  $OD$ . Existen conceptos definidos por el SIG para los que no existen conceptos con los que mapear en  $OD$ . La relación semántica  $OD$  y  $OSIG_i$  no es buena. En la medida que mayor sea el número de conceptos no contenidos peor será la relación de cohesión. Por ejemplo  $C_{SIG}$  contiene la definición del concepto EMPLAZAMIENTO mientras que  $C_{OD}$  define el concepto LOCALIDAD. Existen elementos de  $C_{SIG}$  que no mapean a LOCALIDAD y que se perderían en el proceso de mapeo.
4.  $\neg(C_{SIG} \subset C_{OD} \wedge C_{OD} \subset C_{SIG}) \wedge (C_{SIG} \cap C_{OD} \neq \emptyset)$ . Ambas ontologías contienen conceptos que no tienen su correspondencia en el otro universo, aunque comparten un subconjunto. Un ejemplo de esta situación sería que  $C_{SIG}$  defina al concepto FUENTE DE AGUA DULCE mientras que  $C_{OD}$  considere al concepto CORRIENTE DE AGUA. Existen elementos considerados por el concepto de  $C_{SIG}$  como "embalses" que no mapean al concepto CORRIENTE DE AGUA de  $C_{OD}$ . Inversamente, elementos considerados en la definición semántica de  $OD$ , como "mares", no están representados en la aplicación  $C_{SIG}$ .

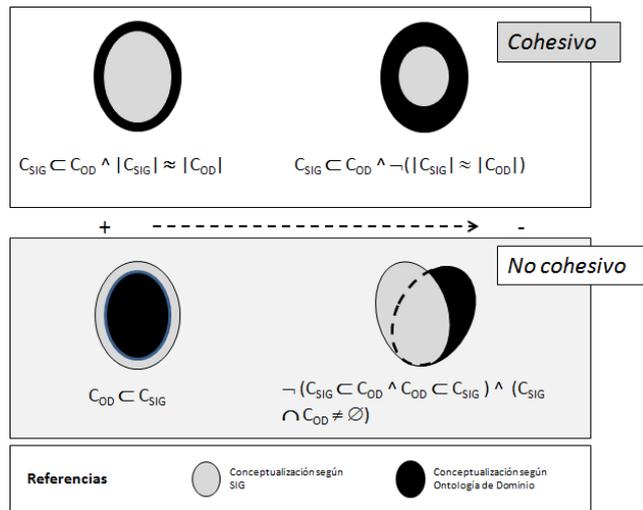


Figura 2 – Representación de la relación entre conceptos de OD y conceptos de SIG<sub>i</sub>

La Figura 2 presenta gráficamente los ítems anteriores usando representación de conjuntos. La calidad de la relación entre los conjuntos de conceptos impacta en la efectividad del proceso de integración de los distintos modelos. Afirmamos que la función de mapeo pierde precisión en la medida que nos alejamos de la situación planteada en 1, siendo 4 la alternativa menos deseable.

A modo de ejemplo la Figura 3 muestra dos vistas parciales de los modelos conceptuales ontológicos sobre el Tema “Geografía Económica”. El análisis de la relación entre los conceptos de una y otra ontologías está en la Tabla 2. Como se muestra en el ejemplo es difícil asegurar una relación óptima. Una posible solución al problema de baja precisión podría ser combinar las definiciones de varias ontologías  $OD_j$ . Seguramente en este caso se necesitará analizar en detalle cómo resolver situaciones conflictivas entre distintas  $OD_j$ . Es de esperar que en la definición de conceptos se planteen situaciones de sinónimos, redundancias, contradicciones, entre otras.

## 5 Análisis de la propuesta

La naturaleza distribuida de las aplicaciones SIG llevo a la existencia de múltiples conceptualizaciones sobre dominios superpuestos. Mientras tanto, el progreso constante en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC's) hace posible que exista gran cantidad de IG heterogénea disponible. Las investigaciones sobre ontología en el campo Ciencias de la Computación buscan formas de representar y acceder al conocimiento sobre la IG digital en pos de favorecer la interoperabilidad entre sistemas.

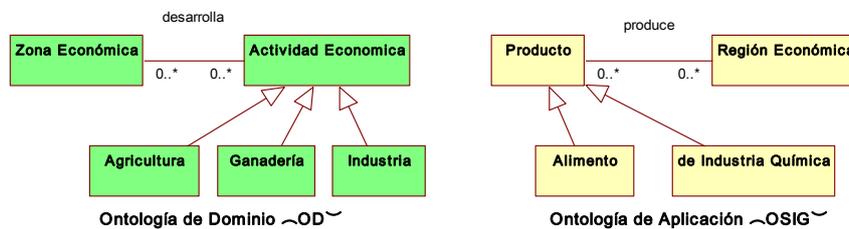


Figura 3 – Ejemplo de Ontologías

Tabla 1 – Análisis de la relación entre conceptos

Concepto OSIG	Concepto OD	Relación de Mapeo	
Región Económica	Zona Económica	(1.) Muy buena	
<i>produce</i>	<i>desarrolla</i>	(2.) Buena	
Producto	Actividad Económica	(2.) Buena	
Alimento	Ganadería	(3.) Regular	<i>El mapeo depende de la existencia de algún discriminador en alimento</i>
	Agricultura		
	Industria	(4.) Mala	
de Industria Química	Industria	(2.) Buena	

La investigación sobre integración semántica de IG usando ontologías se proyecta en dos sentidos. Algunas propuestas estudian y proponen estilos para organizar y distribuir la definición de los conceptos: usar una ontología común y mapear a ella, definir ontologías intermedias, realizar mapeos punto a punto, entre otras alternativas [2,13]. Se investigan y proponen actividades alternativas en camino a la integración: mapeo ontológico, integración ontológica, fusión (merging), alineación. Algunas soluciones se enfocan a integrar esquemas o modelos conceptuales, mientras que otras lo hacen a partir de la integración de las instancias o datos [14].

Otros trabajos de investigación se ocupan de diseñar e implementar herramientas cuya función es asistir al proceso de integración [14,15,16], con mayor o menor grado automatización, algunas están centradas en el análisis de los datos y otras en la comparación de los diccionarios de datos. Trabajos que hacen análisis comparativos sobre herramientas de integración se pueden encontrar en [3,5]. En general, los resultados obtenidos coinciden en que no es posible automatizar completamente el proceso de integración y que al menos en la fase de definición del mapeo se requiere de la participación de expertos del dominio.

Este trabajo plantea una técnica novedosa y simple basada en relaciones de conjuntos para anticipar conceptualmente el resultado de la integración entre dos modelos ontológicos. Como se mostró en el ejemplo y se desarrolló en la Tabla 3, el procedimiento incluye identificar cada elemento de la ontología origen (conceptos y relaciones) y clasificar la relación de mapeo (de 1 a 4) con conceptos de la ontología destino. En la medida que la ontología destino cubra los conceptos de la ontología origen se espera que el mapeo a la ontología compartida sea posible sin pérdida de información. En el ejemplo se puede observar que entre ambos modelos hay una relación “buena” para los conceptos “Región Económica”, “produce” y “Producto” siendo diferente y hasta posiblemente imposible de mapear la forma diferente que tienen de clasificarlos.

## 6 Conclusiones

Las ontologías son un medio que gana importancia si se busca interoperabilidad entre SIG heterogéneos y aplicaciones web. El estilo de integración basado en ontología híbrida brinda una capa de abstracción que provee una vista unificada a la que los usuarios pueden consultar independizándose de los modelos conceptuales de cada proveedor. Para que esto sea posible, se necesitan definir los mapeos entre los distintos modelos de aplicación y la ontología común.

Gran parte del esfuerzo de la comunidad de investigación en Integración Semántica está destinado a desarrollar técnicas y herramientas automáticas que aseguren buenos resultados. En este trabajo se propone una técnica basada en relaciones de conjunto para medir la interrelación entre los modelos de distintas ontologías y que permita prever el resultado del proceso de integración. En la medida que los conceptos relevantes del modelo conceptual mantengan una buena relación de cohesión con conceptos en la ontología de dominio se espera que el resultado de la integración sea bueno. Ésta propuesta está en su fase inicial investigación. Queda propuesto como

trabajo futuro desgranar esta primera medida en submedidas específicas y cuantificables que provean un resultado y medir la aplicabilidad de la propuesta.

## Bibliografía

1. A. Buccella: Integración de Sistemas de Información Geográfica. Ph Tesis. Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación. UNS. Argentina (2009).
2. A Namyoun Choi, Il-Yeol Song, and Hyoil Han: A survey on ontology mapping. *SIGMOD Rec.* 35, 3, pp , 34--41 (September 2006).
3. Y. Kalfoglou and M. Schorlemmer. Ontology mapping: the state of the art . *The Knowledge Engineering Review*, 18, pp 1-31 (2003).
4. M. Egenhofer: Toward the semantic geospatial web. In: *Proceedings of the 10th ACM international symposium on Advances in geographic information systems*, pp. 1--4. ACM GIS, New York (2002).
5. B.Sean M. Falconer, Natalya Fridman Noy, Margaret-Anne D. Storey: Ontology Mapping - a User Survey. In *Proceedings of OM'2007*, pp 113--125 (2007).
6. F. Fonseca, J. Egenhofer et al: Using Ontologies for Integrated Geographic Information Systems. *Transactions in GIS* 6 (3), pp 231--257 (2002).
7. Nicola Guarino: *Formal Ontology and Information Systems*. In: IOS Press, pp 3—15. (1998).
8. ISO/TC 211. 1994. ISO/TC 211 Geographic Information / Geomatics. url: <http://www.isotc211.org/>.
9. ISO/TC211. Geographic Information - Rules for application schemas. ISO International Standard. ISO/TC211 19109. International Organization for Standardization, TC 211 (2005)
10. Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J.: *Geographic information systems and science*. John Wiley and Son (2005).
11. OGC. Open Geospatial Consortium, Inc. (OGC). 1994. url: <http://www.opengeospatial.org/>
12. M. Vitturini: Modelos de Representación para Información Geográfica. Mg. Tesis. Dpto. de Ciencias e Ingeniería de la Computación. UNS. Argentina (2011).
13. H. Wache, T. Vögele, U. Visser, H. Stuckenschmidt, G. Schuster, H. Neumann and S. Höbner.: *Ontology-Based Integration of Information - A Survey of Existing Approaches*. In: *IJCAI Workshop: Ontologies and Information Sharing*, pp. 108--117 (2001).
14. Do, Hong-Hai *Schema Matching and Mapping-based Data Integration*. PhD thesis, Department of Computer Science, Universität Leipzig, (2006).
15. N. F. Noy, Mark A. Musen, The PROMPT suite: interactive tools for ontology merging and mapping, *International Journal of Human-Computer Studies*, Volume 59, Issue 6, December 2003, Pages 983-1024 (2003).
16. Rahm, E., Bernstein, Philip: A survey of approaches to automatic schema matching. In: *The VLDB Journal*, pp. 12-25 (2001).