

Integración y publicación de repositorios de datos espaciales en el dominio de la hidrología

Eddy Mojica, Miguel Ángel Latre, Javier Noguerras-Iso

Departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas, Universidad de Zaragoza
María de Luna, 1. 50018-Zaragoza (España)
{eddy, latre, jnog}@unizar.es

Resumen. En la actualidad, numerosas administraciones públicas facilitan a los ciudadanos la posibilidad de descargar datos espaciales a través de servicios estandarizados. Este es el caso, por ejemplo, de las Confederaciones Hidrográficas que facilitan el acceso a datos espaciales vinculados a distintos tipos de fenómenos geográficos discretos (*features*) relacionados con la gestión del agua (masas de agua superficiales y subterráneas, presiones sobre las mismas, redes de control, etc.) y a través de especificaciones establecidas por organismos reconocidos a nivel internacional. Muchas de estas agencias facilitan el acceso a datos espaciales representados en formato GML (*Geographic Markup Language*), a través de servicios web conformes con la especificación *Web Feature Service* (WFS) del *Open Geospatial Consortium* (OGC). El acceso en tiempo real y la combinación inteligente de la información, proporcionaría una funcionalidad de gran interés para analizar los datos de forma horizontal en zonas transfronterizas. Sin embargo, tanto el desconocimiento de la existencia de los servicios de acceso a datos como las heterogeneidades existentes en los modelos de datos manejados en las bases de datos espaciales de las distintas agencias, dificultan la integración de los datos. El objetivo de este artículo es presentar una propuesta arquitectural de un sistema inteligente que permita integrar de forma automática la información accesible a través de múltiples fuentes de datos heterogéneas, haciendo especial hincapié en los componentes de la misma relativos al acceso y recuperación de los datos.

1 Introducción

La importancia de los datos georreferenciados y el gran volumen de la información geográfica (fenómenos asociados directa o indirectamente con una localización respecto a la superficie terrestre) acumulada en las últimas décadas, han potenciado la aparición de un nuevo paradigma que se ha convenido en llamar *Infraestructuras de Datos Espaciales* (IDE), un término que denota un conjunto básico de tecnologías, políticas, estándares y acuerdos institucionales para facilitar la disponibilidad y acceso de información geográfica. Las IDE proporcionan una base para la búsqueda, evaluación y explotación de la información espacial para usuarios y proveedores de todos los niveles de la administración, sector comercial, organizaciones sin fines de lucro, sector académico y ciudadanos en general. En un paso más, desde la Comisión Europea, se impulsó la iniciativa INSPIRE (*IN*frastructure for *S*patial *I*nfoRmation in

Europe) [1] con el objetivo de establecer las bases, tanto técnicas como políticas, para poder crear una Infraestructura de Datos Espaciales Europea de los países miembros. INSPIRE centraliza sus esfuerzos en temas ambientales. La arquitectura planteada se basa en cuatro grupos principales de componentes: repositorios de información (datos y metadatos), catálogos y servicios de catálogo, redes de Servicios de geoprocesamiento y aplicaciones de usuario. En particular, la Comisión Europea promulgó en 2000 la Directiva Marco del Agua (DMA) [2], donde se marcó el ambicioso objetivo de establecer un marco común para la protección de todas las aguas europeas, tanto continentales, como transicionales, costeras y subterráneas. Su objetivo principal es lograr alcanzar un *buen estado* de las mismas para el año 2015.

Los procesos de estandarización de información, los servicios y el enfoque hacia varias líneas de directivas marco de la Unión Europea, abren la puerta a todo un abanico de necesidades de avance conceptual y tecnológico en el marco de las IDE. Ante esta situación, se plantean todo un conjunto de nuevos retos tecnológicos, conceptuales y de creación de nuevas ideas, servicios y aplicaciones dentro de la filosofía expresada por las Infraestructuras de Datos Espaciales. Todo ello en conjunto y adicionado la multitud de problemas tradicionales relacionados con el tratamiento de la información espacial y con la propia complejidad de la información geográfica (volumen, estructuración, procesos de creación y mantenimiento, etc.).

Este artículo propone un enfoque para integrar los datos hidrológicos mediante el uso de una ontología terminológica multilingüe como mecanismo de representación explícita del conocimiento. Ésta permite descubrir las relaciones implícitas entre las características de los diferentes modelos de datos locales, además, de abordar los problemas derivados de la interoperabilidad semántica en la recuperación de información geográfica. El resto del documento está organizado de la siguiente manera. La sección 2 resume el estado del arte en el descubrimiento y recuperación de información basado en ontologías; la sección 3, el sistema de recuperación de información presentado y la sección 4, la implementación del sistema. La última sección concluye y presenta algunas ideas sobre trabajos futuros.

2 Estado del arte

Es evidente el incremento de las tecnologías emergentes producidas por la transformación de la web convencional en Web Semántica, que ha supuesto el uso de nuevas herramientas y estándares para generar nuevos servicios, convirtiéndola en un gran recurso interoperable. Sin embargo, el fenómeno causado por la ambigüedad del lenguaje natural sigue generando problemas de heterogeneidad semántica.

Siendo las Infraestructuras de Datos Espaciales el contexto principal, los mecanismos de recuperación tradicionales se ven limitados, ya que una palabra clave no es suficiente para realizar una consulta frente al gran volumen de información distribuida.

Algunas de las investigaciones plantean anotaciones basadas en lenguajes de marcado para el desarrollo de la semántica como RDF/RDFS recomendado por la W3C. No obstante, la expresividad y capacidad para describir un dominio es una tarea crucial en la representación del conocimiento, donde la flexibilidad es uno de los princi-

pales retos para inferir en términos de razonamiento, al momento de expandir conceptos sin comprometer la autonomía de los mismos.

Una ontología es descrita con mayor frecuencia como “una especificación explícita de una conceptualización” [3]. Su clasificación en tres grupos [4], según la dependencia de un dominio es: i) Ontologías, describen un dominio muy general; ii) Ontología de dominio y Ontologías de Tareas, describen un vocabulario relacionado con un dominio o tarea genérica; iii) Ontologías de aplicación, describen conceptos, dependiendo tanto de un dominio particular y tarea, que a menudo son las especializaciones de las ontologías.

Uno de los trabajos enfocados al descubrimiento y recuperación de información geográfica basados en ontologías, describe los posibles problemas causados por la heterogeneidad semántica [5] existente entre la consulta del usuario y los metadatos de información geográfica descritos por el proveedor si son de comunidades diferentes. Se propone una arquitectura que se enfoca en un modelo híbrido de ontologías bajo la idea de tener una fuente independiente de vocabulario compartido para cada dominio. Se supone que los miembros de un dominio comparten ciertos conceptos básicos, utilizados para hacer la información contextual explícita, es decir, construir ontologías [6]. La búsqueda del concepto se complementa con diferentes ontologías de aplicación dentro del mismo dominio, aplicando un razonador terminológico RACER (*Reasoner for A-Boxes and Concept Expressions Renamed*), que trabaja bajo el contexto de igualdad y subsunción (B satisface requisitos de A, por lo tanto B es clasificada por debajo de A). En este prototipo integra el componente de razonamiento y el componente de catálogo de servicios en cascada, que extienden la funcionalidad del catálogo de servicios convencional mediante la manipulación de los conceptos devueltos por el razonador de metadatos.

La interpretación semántica basada en ontologías [7], permite al usuario hacer una consulta sobre un término que pueden ser espaciales o territoriales, una ubicación y una relación de la ubicación. El *Semantic Mediator* convierte la consulta a una petición, solucionando los conflictos semánticos, según la ontología alojadas en el *Knowledge Base*, que contiene el diccionario, tesauro, reglas semánticas, ontologías y metadatos. El *WrapperSelector* es el motor de búsqueda que proporciona la comunicación con las diferentes fuentes de datos, resultados que son organizados por el *RelevanceRank* y mostrados al usuario, que confirma la selección de interés y retorna al usuario los datos específicos.

Incrementar la capacidad de los sistemas mediante la definición semántica de relaciones entre las múltiples capas en el mapa utilizando las ontologías [8], permite describir términos en el dominio de cada capa, enfrentando el problema de heterogeneidad semántica aplicando un enfoque híbrido, donde el *Ontology Server*, es el componente central del sistema. La ontología global es almacenada y gestionada con el repositorio de relaciones semánticas, a través, del administrador de ontologías OSRM (*Ontology Server Relation Manager*), considerado como catálogo semántico del sistema, es la clave de la interoperabilidad, entre el GIS *Data Server*, lugar donde los datos geográficos son almacenados, que consiste en un *Ontology Mapper*, que identifica cual ontología ha sido almacenada en el *Ontology Server* para cada *Source-Specific Ontology*, permitiendo la recuperación en el *Raw Data*, a través, del *Wrap-*

per; y el *Query process*, encargado de mediar con el *Ontology Server* y presentar los resultados al usuario.

No relacionado al área geoespacial, pero enfocándose al descubrimiento y recuperación de información haciendo uso de ontologías [9], describe un motor de consultas que obtiene un juego de vocabularios en formato RDF, que extienden la pregunta según la combinación de estos vocabularios, enviándolas al motor de recuperación de información, quién las traduce al SCHEMA de la estructura de almacenamiento correspondiente, por ejemplo SQL, XML, etc. Muestra la equivalencia entre el vocabulario Chino e Inglés, creando una relación cartográfica para extender el significado. El modelo de razonamiento es soportado por un API de Jena, usado y operado para procesar el modelo OWL, donde manipulan los datos, apoyado por el lenguaje de consultas RDF, conocido como SPARQL.

El sistema de recuperación de información presentado en este documento avanza las líneas de estos trabajos de investigación, aunque presenta algunas diferencias. Por un lado, se busca potenciar la simplicidad de ofrecer a los usuarios noveles un mecanismo de búsqueda basado en la expansión de los términos utilizados en sus consultas gracias al emparejamiento con los conceptos de una ontología terminológica multilingüe. Adicionalmente, apuntamos a un sistema flexible donde los recursos accedidos sean servicios estandarizados que cumplan las especificaciones de OGC.

3 Diseño y arquitectura del sistema

Esta sección está dedicada a presentar un sistema que permite integrar, de forma automática, información geográfica accesible a través de múltiples fuentes de datos heterogéneas, utilizando tecnologías de web semánticas para definir y explorar ontologías terminológicas que permiten establecer la correspondencia entre modelos locales de datos de diferentes repositorios de información.

Una visión general del sistema, funcionalidad y un ejemplo de uso se presentan a continuación en la sección 3.1. A continuación, en la sección 3.2, se explica con mayor detalle el diseño y funcionamiento de los componentes del sistema, que se hayan descritos también en [10].

3.1 Arquitectura general del sistema y ejemplo de uso

La fig. 1 muestra la arquitectura del sistema de recuperación de información IR (*Information Retrieval*), donde el componente principal es el *Ontology-based IR*, que toma como entrada un concepto y una dimensión geográfica (*BBOX*), devolviendo como resultado una serie de características de fenómenos geográficas. A su vez, interactúa con otros componentes del sistema como: el *Ontology Manager* (que funciona como mecanismo de expansión de consultas), *Services Catalog* (que facilita el descubrimiento de servicios de acceso a fenómenos), el *WFS Query Resolver* (que se encarga de preparar las consultas concretas a los servicios WFS descubiertos) y el *WFS Broker* (que realiza las peticiones y combina los resultados).

La fig. 2 muestra el caso particular del concepto *Ríos*, donde el mecanismo de expansión de consulta extiende dos términos preferidos (*River* y *Course d'eau*) y 56

términos alternativos entre ellos: *arroyo*, *water course*, *ruisseau*, etc. De esta forma, se descubren diferentes WFS registrados en un catálogo de servicios. Por ejemplo, el servicio WFS denominado *IDE-Ebro WFS*, que es un servicio ofrecido dentro del marco de la Infraestructura de Datos Espaciales de la cuenca del río Ebro (IDE-Ebro), gestionada por la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). Estos servicios permiten acceder a datos de entidades geográficas agrupadas en tipos, como, por ejemplo, *ríos*, *lagos*, etc. Estas entidades geográficas siguen modelos de datos locales diferentes. Posteriormente, se invocan estos servicios recuperando datos hidrológicos necesarios, donde los diferentes modelos se deben combinar para devolver un único conjunto de *features* (*FeatureCollection*) bajo un modelo uniforme.

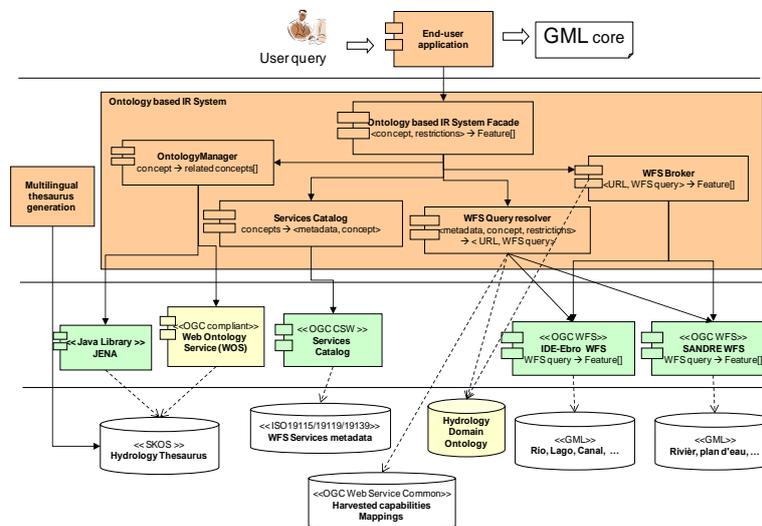


Fig. 1. Arquitectura del sistema de recuperación de información.

3.2 Componentes del sistema

3.2.1 Componentes de búsqueda

El *Ontology Manager* funciona como mecanismo de expansión de consultas, acoplado al vocabulario del usuario al modelo de datos local de los distintos repositorios, apoyado por un razonador de RDF mediante consultas SPARQL, que facilitan el análisis sintáctico (*parsing*) y evitando la ambigüedad del lenguaje natural, para inferir términos semánticamente similares, a través, de una ontología terminológica generada automáticamente a partir de la fusión y poda de otros tesauros multilingüe [11]. Esta ontología provee una base de conocimiento formal de elementos representados en el dominio de la hidrología, interpretados por un motor de razonamiento e identificando aproximaciones genéricas de relaciones y representaciones semánticas de las terminologías, mejorando significativamente la jerarquía, la sinonimia, el multilingüismo y la falta de conocimiento explícito del dominio.

6 Eddy Mojica, Miguel Ángel Latre, Javier Noguera-Iso

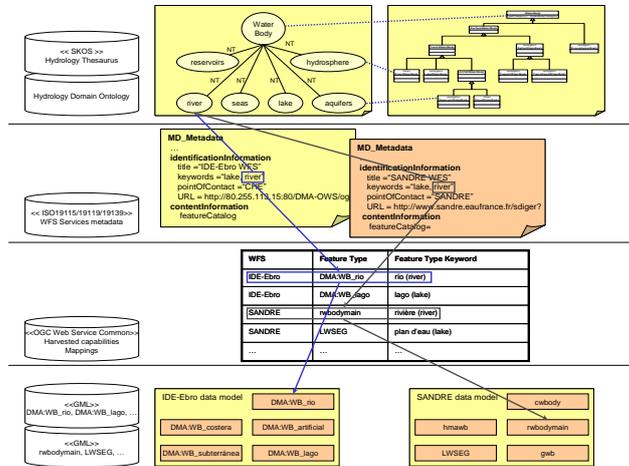


Fig. 2. Ejemplo de uso.

Concebido como un servicio centralizado, almacenado en SKOS y RDF, esta arquitectura tiene por objeto reducir el costo de la creación de una nueva ontología o tesoro, optimizando la reutilización del tesoro multilingüe obtenido en la sección anterior, evitando duplicidades e incoherencias, véase fig. 3.

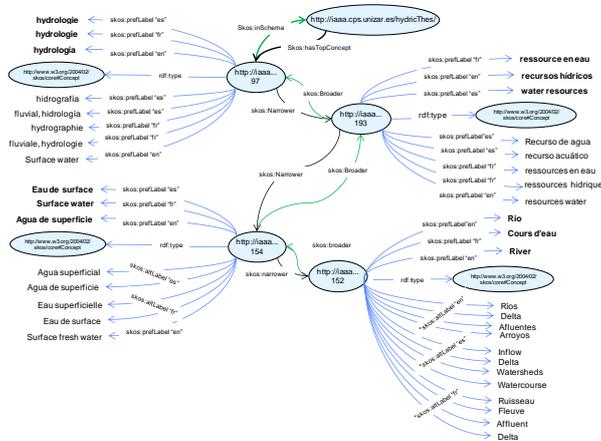


Fig. 3. Abstracción RDF de terminologías ontológicas multilingüe en SKOS

Este sistema de organización del conocimiento SKOS, provee de una amigosa, fácil e intuitiva vía para representar un modelo común basado en anotación RDF, permitiendo expresar de forma sencilla la declaración del sujeto, predicado y objeto (tripleas), proporcionando un alto nivel combinado de condiciones en la estructura jerárquica, definida en segmentos de arriba hacia abajo, donde cada término tiene clasificaciones más bajas y su equivalencia correspondiente en diferentes idiomas.

El proceso de expansión de consultas empleado para resolver algunos de los problemas derivados por la ambigüedad de las consultas realizadas por los usuarios (sinonimia, polisemia y multilingüismo), consiste en la ampliación del vocabulario de la consulta, y se lleva a cabo con el lenguaje de consulta SPARQL.

Las deducciones de conjunciones y disyunciones logradas por el lenguaje, influyen directamente en la generación dinámica de los resultados semánticos. Esto se logra utilizando el motor de inferencia JENA, un API de JAVA para RDF, que carga el documento ontológico razonando y expandiendo el término consultado por el usuario.

El siguiente ejemplo muestra algunos de los conceptos expandidos, tras consultar el término *rios*. Los resultados obtenidos nos permiten evaluar la eficacia de los mecanismos semánticos de expansión para deducir las relaciones entre los conceptos, derivados de la sinonimia, polisemia y multilingüismo, véase la tabla 1.

Tabla 1. Conceptos expandidos del término *rios*

Skos:prefLabel	Skos:altLabel	Skos:altLabel	Skos:narrower (preferred)	Skos:narrower (alter)
"rio"@es "river"@en "rivière"@fr	"rivers"@en "rios"@es "arroyos"@es "brooks"@en "streams"@en "cuencas"@es "afluente"@es "inflow"@en "watercourse"@en	"afluencia"@es "affluent"@fr "tributaries"@en "deltas"@es "deltas"@en "delta"@fr "arroyo"@es "brook"@en	"spring"@en "source"@fr "manantiales"@es	"water springs"@en "springs"@en

El *Services Catalog* es el componente que facilita el descubrimiento de servicios de acceso a fenómenos (*Web Feature Service - WFS*) vinculados a la consulta del usuario. El *Services Catalog* permite acceder a un conjunto de catálogos, conformes con la especificación *Catalog Services for the Web (CSW)* de OGC, que almacenan metadatos describiendo las características de los servicios. Los términos expandidos son asociados a identificadores concretos de los metadatos y enlazados para codificar el criterio de selección en una petición extendida del *Filter Encoding* (codificación de las restricciones según un lenguaje estándar de OGC), mejorando la capacidad de la consulta realizada al CSW. Los metadatos recuperados describen fuentes de datos heterogéneas que permitirán obtener parámetros de conexión a estos.

3.2.2 Servicios de acceso y recuperación de información

Tal y como ha sido mencionado previamente, el propósito del *WFS Query Resolver* es el de construir las peticiones específicas que debe realizarse a cada uno de los WFS que han sido descubiertos por el *Services Catalog* a partir de la expansión de términos realizada por el *Ontology Manager*.

En primer lugar, debe determinar qué tipos de *feature* de los servicios por cada uno de los WFS están relacionados con los términos devueltos por el *Ontology Manager*. Para obtener el listado de tipos de *feature* servidos por los distintos WFS, se realizan peticiones de la operación *GetCapabilities* en cada uno WFS. Las respuestas recibidas son analizadas, con el objeto de encontrar apariciones de los términos devueltos por el *Ontology Manager* en los elementos del modelo local de metadatos que describen cada uno de los tipos de *feature* (*name*, *title*, *abstract*, *keywords*). Este procedimiento permite determinar los elementos clave para identificar cada uno de los tipos de *feature*, como son el nombre del tipo de *feature* (*name*), el elemento que identifica inequí-

vocamente el recurso (*URI*) y el sistema de referencia geográfica en el que se obtendrán las *features* de ese tipo cuando se pregunte por ellas (*Default SRS*).

Posteriormente, por cada tipo de *feature* identificado, se realiza una petición de la operación *DescribeFeatureType*, con el fin de obtener información acerca del modelo local de datos de cada tipo de *feature*. Los documentos (*XML Schema*) devueltos por los WFS una vez que se ha invocado la operación *DescribeFeatureType*, son explorados recorriendo cada uno de los elementos de los que consta, para obtener el atributo *type*, que es utilizado para indagar la estructura jerárquica que describe las propiedades complejas (*xsd:complexType*). Una secuencia de elementos indican la declaración de cada una de los identificadores espaciales y no espaciales, de los cuales, el fundamental para nuestro prototipo es el *type*="gml:GeometryPropertyType", que describe la geometría de la *feature*.

El nombre del elemento que describe la geometría es mapeado para codificar la consulta en *Filter Encoding*, con las restricciones geográficas en formato vectorial, ajustando los valores del sistema de referencia utilizado por el usuario (BBOX) al sistema de referencia del modelo local, integrándolos en la operación *Query*. Por último se crea una instancia para cada tipo de fenómeno (*feature*), recopilando meta-información sobre el proveedor (*provider*), el WFS (*Service*), el tipo de *feature* (*featureType*), el término devuelto por el Ontology Manager que estaba presente en la descripción del tipo de *feature* (*conceptMatch*), el sistema de referencia (*SRS*) y la consulta (*Query*), que se traslada al *WFS Broker*.

3.3.4 WFS Broker

Una vez que el *WFS Query Resolver* ha creado las peticiones de consulta (*GetFeature* o *wfs:Query*) con el compendio de las características locales de cada modelo, es el *WFS Broker* el encargado de ejecutar las peticiones correspondientes y recuperar la información de *features* concretas de los diferentes WFS.

La estructura jerárquica del documento GML devuelto por cada WFS como resultado, es recorrida para extraer datos particulares como la descripción y la geometría de cada una de las *features* del GML. Esta información es combinada en una única colección de *features* homogénea, y se devuelve al componente principal *Ontology-based IR*, quién a su vez lo retorna al componente *UI*.

El mecanismo de extracción de información utilizado para llevar a cabo las consultas y recuperación de los diferentes documentos, es logrado ejecutando la operación *GetFeature*. Por cada documento devuelto por los diferentes WFS, se realiza un tratamiento de las geometrías, calculando las proyecciones cartográficas para convertir coordenadas geográficas en coordenadas proyectadas o viceversa, para devolver el mismo sistema de referencia consultado por componente *UI*.

La combinación de la información proveniente de los diferentes documentos GML recuperados en un único documento GML (denominado por nosotros *GML Core*) provee una referencia al modelo local de cada WFS incluyendo tanto el nombre del tipo de *feature*, una descripción, la geometría y el fragmento de GML que contiene los datos completos de la *feature*, tal y como los ha devuelto su WFS (*RawData*).

El compendio de los detalles provenientes del mapeo realizado en cada uno de los procesos, son añadidos en el documento *GML*. Estos detalles son descritos como: el servicio, el proveedor, la *feature*, el concepto coincidente con la palabra clave que describe la *feature*, el sistema de referencia (identificado por el *WFSQuery Resolver*),

la geometría vectorial y la fuente de datos completas (identificados por el *WFS Broker*), tal y como se muestra a continuación, en la fig. 4.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
Xmlns:...
<gml:featureMember>
  <SimpleFeature>
    <PROVIDER>Confederación Hidrográfica del Ebro</PROVIDER>
    <SERVICE>http://80.255.113.15/GIS-Ebro-OWS/ogcwebserv?</SERVICE>
    <FEATURETYPE>wise:RiverWaterBody</FEATURETYPE>
    <CONCEPTMATCH>Río Ebro</CONCEPTMATCH>
    <gml:posList srsName="EPSG:23030">x,y x,y x,y</gml:posList>
    <RAWDATA> Información completa del featureMember</RAWDATA>
  </SimpleFeature>
  <SimpleFeature>
    <PROVIDER>IDE-E</PROVIDER>
    <SERVICE>http://80.255.113.15/DMA-OWS/ogcwebservice?</SERVICE>
    <FEATURETYPE>wise:LakeWaterBody</FEATURETYPE>
    <CONCEPTMATCH>Blue Like</CONCEPTMATCH>
    ...
  </gml:featureMember>
```

Fig. 4. Ejemplo de respuesta del sistema

4 Implementación

La arquitectura presentada en las secciones anteriores se encuentra actualmente implementada como un prototipo de sistema de recuperación de información geográfica, permitiendo evaluar la granularidad y precisión de la recuperación de información asistida semánticamente por ontologías terminológicas multilingües en el contexto de la hidrología.

La interfaz de usuario proporcionada permite intuitivamente introducir un concepto y seleccionar un área geográfica para delimitar el espacio territorial y envía la consulta correspondiente al *Ontology-based IR*, véase fig. 5.



Fig. 5. Interfaz de usuario.

El *Ontology-based IR* recibe la consulta de la interfaz de usuario y realiza las peticiones correspondientes, procesa y combina los diferentes resultados en un solo do-

cumento GML Core, devolviéndolo al UI. Este despliega la información recibida, véase fig. 6, listando los diferentes fenómenos recuperados, a su vez, proporciona una vista geográfica del fenómeno seleccionado, que en este caso es un segmento de río, véase fig. 7. Esta vista se logra utilizando un API de Google, que facilita diversas utilidades para manipular los mapas, añadiendo contenidos mediante diversos servicios, permitiéndote crear aplicaciones de mapas en tu sitio web.



Fig. 6. Despliegue de información.



Fig. 7. Vista geográfica.

5 Conclusiones y trabajo futuro

Se ha presentado la arquitectura de un sistema de recuperación de información geográfica que facilita la integración de datos hidrológicos. Este prototipo permite validar algunas hipótesis de recuperación de información geográfica en el contexto de la protección de las masas de agua superficiales, facilitando el nivel de granularidad y la simplificación de las formas geométricas complejas. El prototipo también es aplicable a otros contextos que requieran la integración y análisis de datos proporcionados por distintas fuentes de zona geográfica o en zonas colindantes.

Aunque la propuesta presentada permite mejorar la exhaustividad (número de *features* relevantes devueltos), tenemos en mente trabajar en el futuro en mejorar los mecanismos de presentación de los resultados. Es decir evaluar un marco geográfico de referencia común, como las especificaciones de datos de INSPIRE, que permita devolver el conjunto de resultados normalizados, facilitando la manipulación y visualización en herramientas SIG. Asimismo, se trabajará en la construcción de algoritmos basados en geo-vocabularios que faciliten la deducción dinámica de atributos geométricos de las entidades devueltas por los distintos WFS. A demás, extender las capacidades del léxico y conceptualización para la utilización de términos compuestos (frases). Se pretende relacionar los términos de las consultas a largo plazo con ontologías genéricas como WordNet y Sensus, que permiten el uso libre con fines de investigación, así como facilitar el procesamiento multilingüe con versiones multi-idioma de estas ontologías (por ejemplo, mediante EuroWordnet).

Finalmente, se investigará la formalización del flujo de trabajo que establece el encañamiento de servicios (servicios de acceso a ontologías, servicios de catálogo, servicios de acceso a fenómenos) mediante lenguajes formales de composición de servicios como BPEL (Business Process Execution Language).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Gobierno de España a través de los proyectos “España Virtual” (ref. CENIT 2008-1030), TIN2006-13301, TIN2007-65341 y PET2006_0245, del Gobierno de Aragón, a través del proyecto PI075/08, del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y de GeoSpatiumLab S.L. El trabajo de Eddy Mojica ha sido financiado por la Universidad de Zaragoza, Banco Santander y Fundación Carolina a través del programa “Ayudas para realizar estudios de doctorado dirigidas a estudiantes latinoamericanos. Curso 2008–2009”.

Referencias

1. Infrastructure for Spatial Information in Europe, Obtenido de <http://www.ec-gis.org/inspire>.
2. Comisión Europea (2000). Directiva 2000/60/EC del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de las Comunidades Europeas.
3. Gruber, T.R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *ACM Knowledge Acquisition, Special issue: Current issues in knowledge modeling*, vol. 5, no. 2, pp 199–220.
4. Guarino, N. (1997). Semantic Matching: Formal Ontological Distinctions for Information Organization, Extraction, and Integration. *Information Technology, International Summer School, SCIE-97*.
5. Lutz, M., & Klien, E. (2006). Ontology-Based Retrieval of Geographic Information. *Journal of Geographical Information Science*, vol. 20, no. 3, pp. 233–260.
6. Visser, U. (2002). Interoperability in GIS. *5th AGILE Conference on Geographic Information Science*, pp 291-297.
7. Kun, M., & Fuling, B. (2007). An Ontology-based Approach for Geographic Informatic Retrieval on the Web. *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM 2007)*, pp. 5959-5962.
8. Minh Duc, T., & Nishimura, T. (2008). Geographical information retrieval system using semantic relationships between multiple layers. *Proceedings of the 10th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services*, pp 306-309.
9. Li, G.-y., Yu, S.-m., & Dai, S.-S. (2007). Ontology-Based Query System Design and Implementation. *IFIP International Conference on Network and Parallel Computing Workshops, 2007*, pp 1011-1014.
10. Latre, M. Á., Lacasta, J., Mojica, E. A., Noguerras-Iso, J., & Zarazaga-Soria, F. J. (2009). An approach to facilitate the integration of hydrological data by means of ontologies and multilingual thesauri. *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography (LNG&C), Advances in GIScience. Proceedings of the 12th AGILE Conference*, pp. 155-171
11. Lacasta, J., Noguerras-Iso, J., Zarazaga-Soria, F., Muro-Medrano, P. (2007). Generating an urban domain ontology through the merging of a cross-domain lexical ontologies. In *Proceedings of 2nd Workshop of COST Action C21 - Towntology: Ontologies for urban development: conceptual models for practitioners*, pp. 60-74.