

Una ontología para representar la información geográfica en el dominio hídrico ecuatoriano

Lucia Lupercio^{1,2}, Mauricio Espinoza², Fernando Baculima², and Victor Saquicela²

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca, Ecuador,

² Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Cuenca, Ecuador,

{lucia.lupercio, mauricio.espinoza, fernando.baculima,
victor.saquicela}@ucuenca.edu.ec

Abstract. In spite of the existing efforts for the creation of semantic models that ensure the interoperability in the water domain, the greater part of these proposals focus on solve specific needs, especially regarding the regulations that the geographic information has to fulfil in a territory or community. To tackle this need, in this work we propose the creation of an ontology that describes the basic concepts, based on existing semantic models of the community and that incorporate the representation of water resources applied to the Ecuadorian context considering the existing regulations. The data set instantiated in the ontological model come from of different Ecuadorian institutions. The modeling result is an ontological network conformed by a collection of ontologies joined through relations between them. All the process involved i) the selection and execution of activities proposed by the methodology NeOn for the construction of the ontology model, ii) the implementation using the Web Ontology Language (OWL), and iii) the documentation of the ontological model. We conclude that the created ontology, named hydrOntologyEC provides a more flexible platform to facilitate the interoperability of the agencies involved in the water domain.

Keywords: Ontological Engineering, Ontology of Water Resources, NeOn Methodology

Resumen. A pesar de los esfuerzos existentes en la creación de modelos semánticos que aseguren la interoperabilidad en el dominio hídrico, la mayor parte de estas propuestas se enfocan en solventar necesidades específicas, especialmente en lo referente a las regulaciones que la información geográfica debe cumplir para un cierto territorio o comunidad. Para abordar esta necesidad, en este trabajo proponemos la creación de una ontología que describa los conceptos básicos, basados en modelos semánticos existentes en la comunidad y que incorpore la representación de recursos hídricos aplicados al contexto ecuatoriano tomando en consideración las regulaciones existentes. Los conjuntos de datos instanciados en el modelo ontológico provienen de diferentes instituciones ecuatorianas. El resultado del modelamiento es una red ontológica conformada por una colección de ontologías unidas a través de relaciones entre ellas. Todo

el proceso involucró: i) la selección y ejecución de actividades propuestas por la metodología NeOn para la construcción del modelo ontológico, ii) la implementación del modelo utilizando el lenguaje OWL y iii) la documentación del modelo ontológico. Concluimos que la ontología creada, denominada hydrOntologyEC proporciona una plataforma más flexible para facilitar la interoperabilidad de las agencias involucradas en el dominio hídrico.

Palabras Clave: Ingeniería Ontológica, Ontología de Recursos Hídricos, Metodología NeOn

1. Introducción

Es muy común que la Información Geográfica (IG) sea hoy en día gestionada por una variedad de agencias, quienes utilizan diferentes niveles de granularidad, calidad y estructura para representar sus datos. Esta heterogeneidad, combinada con las necesidades de intercambio de información desde diferentes actores, causa varios problemas importantes al momento de buscar, recuperar y explotar datos con características similares [15].

La comunidad vinculada con los recursos hídricos no está exenta de estos desafíos, los cuales adquieren mayor importancia si se considera que la solución de problemas complejos en el dominio hídrico tiene un enfoque multidisciplinario [6,9]. Esta tendencia ha aumentado la sofisticación de los modelos utilizados, obligando a que los datos provenientes desde diferentes fuentes sean consistentes, esto implica considerar la heterogeneidad sintáctica en la estructura de los metadatos utilizados y la heterogeneidad semántica debido a la variedad de terminología utilizada para describir los conceptos.

Una de las soluciones para enfrentar estos desafíos es que la comunidad acuerde una ontología que especifique y organice los conceptos relacionados al dominio hídrico. Una ontología es una especificación formal y explícita de una conceptualización compartida [11]. Aquí, conceptualización se refiere a un modelo abstracto de algún fenómeno en el mundo y la identificación de los conceptos relevantes de ese fenómeno. Explícita significa que el tipo de conceptos que se utilizan, así como las restricciones de su uso, se definen de forma explícita. Formal hace referencia al hecho de que la ontología debe ser legible por una máquina. Compartida refleja la noción de que una ontología captura conocimiento consensuado, es decir, que no es privado, sino aceptado por un grupo.

Se ha avanzado mucho hacia la representación semántica formal de conceptos en el dominio del agua [15,2,14]. Sin embargo, la mayor parte de las propuestas usan nomenclaturas que no se ajustan al contexto latinoamericano. La principal contribución de este trabajo es la creación de una ontología base que permita unificar y estructurar los conceptos del dominio hídrico en el contexto ecuatoriano. La meta es que esta ontología pueda ser usada como un marco de conocimiento central en la que expertos de diferentes dominios puedan contribuir con sus conceptualizaciones y necesidades de metadatos. Se espera además que la metodología utilizada para la construcción de la ontología pueda servir para que otros

desarrolladores y usuarios participen en el proceso de diseño y enriquecimiento de una ontología más completa.

El resto del documento está organizado de la siguiente manera: La sección “Metodología” discute la metodología utilizada para crear la ontología y la especificación de los requisitos que ésta debe cumplir. La sección “Resultados y discusión” presenta la ontología propuesta, denominada hydrOntologyEC, la cual permite representar el conocimiento en el dominio de la información geográfica hídrica ecuatoriana. Finalmente, se resume el trabajo y se discute posibles direcciones para futuras investigaciones en la sección “Conclusiones”.

2. Metodología

En el campo de diseño de ontologías, varios grupos de investigación han hecho esfuerzos para facilitar el proceso de ingeniería ontológica, empleando métodos tanto manuales como automáticos. Lectores interesados en una revisión del estado del arte sobre las metodologías más conocidas en el campo de la ingeniería ontológica pueden consultar [12].

En este trabajo, dos aspectos fueron considerados como claves para el proceso de selección de la metodología: la existencia de guías claras que permitan resolver las diferentes situaciones del modelado y la posibilidad de reutilización de recursos ontológicos y no-ontológicos para reducir el esfuerzo de construir una ontología desde cero. La metodología NeOn descrita en [13] cumple estos requisitos a través de nueve escenarios que facilitan la construcción de una red de ontologías. Estos escenarios ofrecen la flexibilidad suficiente para el modelamiento de la IG en el dominio hídrico ecuatoriano.

El enfoque usado comienza definiendo primero el propósito de la ontología y sus requisitos de diseño. En segundo lugar, la construcción de la ontología se lleva a cabo usando diferentes escenarios de la metodología NeOn. Estos pasos son necesarios para reutilizar y especializar los conceptos usados dentro de la comunidad y determinar el método de presentación de estos conceptos.

Las siguientes secciones explican detalladamente estos pasos, especialmente las fases de construcción de la ontología, ya que estos son sin duda los pasos más complejos y desafiantes en la creación de una ontología.

2.1. Especificación de Requisitos para el Modelo Ontológico

En esta actividad se establece el propósito, el alcance y los usos previstos del modelo [5]. Adicionalmente se especifican los usuarios finales previstos y el lenguaje de implementación de la ontología. A continuación se describe los resultados de cada una de las tareas de la actividad de elicitación de requisitos, usando para ello la plantilla Documento de Especificación de Requerimientos de la Ontología (DERO) propuesta en la metodología. La Tabla 1, muestra las cinco primeras secciones del documento para el caso de la ontología.

Tabla 1. Documento de Especificación de Requisitos: Secciones 1 a 5

1	Propósito
El propósito de la construcción del modelo ontológico es proveer un modelo consensuado para la representación de IG en el dominio hídrico ecuatoriano que pueda ser usado en el proceso de confluencia	
2	Alcance
El modelo ontológico tiene como alcance determinar las características propias de la IG, así como también la descripción de las características de los fenómenos en el dominio hídrico; todo aplicado a nivel local para el caso ecuatoriano	
3	Lenguaje de implementación
El modelo ontológico será implementado en OWL y almacenado en un repositorio interno (este repositorio será abierto a futuro).	
4	Usuarios finales previstos
<p>Usuario 1: Especialistas del dominio hídrico que intentan integrar y combinar información del espacio geográfico ecuatoriano.</p> <p>Usuario 2: Instituciones gubernamentales ecuatorianas encargadas de la gestión de la IG, y otras instituciones encargadas de la gestión de los recursos hídricos en el Ecuador</p>	
5	Usos previstos
<p>Uso 1: Describir la IG en el dominio hídrico ecuatoriano desde fuentes heterogéneas.</p> <p>Uso 2: Colaborar en el proceso de confluencia de IG en el dominio hídrico ecuatoriano.</p> <p>Uso 3: Permitir la recuperación de la IG en el dominio hídrico ecuatoriano</p>	

2.2. Preguntas de Competencia del Dominio Hídrico Ecuatoriano

El uso de preguntas de competencia es una técnica para identificar requerimientos funcionales, que consiste en escribir preguntas en lenguaje natural, que el modelo ontológico deberá ser capaz de responder. La Tabla 2, muestra una lista ordenada de los requerimientos funcionales y no funcionales.

Tabla 2. Documento de Especificación de Requisitos: Sección 6

6	Requerimientos de la Ontología
(a)	Requerimientos no funcionales
<ol style="list-style-type: none"> 1. El modelo ontológico debe estar basado en la normativa y estándares a nivel nacional tanto en el dominio de la IG, como en el dominio hídrico. 2. Los términos y definiciones deben estar en español o en inglés con su respectiva traducción. 	
(b)	Requerimientos funcionales (Preguntas de Competencia)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Qué superficie de la cuenca hidrográfica del Amazonas ocupa el Ecuador? 2. Qué subcuencas/microcuencas abarcan la cuenca hidrográfica del Amazonas en el Ecuador? 3. Qué ríos existen al interior de la cuenca “x”? 4. Qué localidades existen al interior de la cuenca “x”? 5. Qué cantones y poblados pertenecen a una cuenca/subcuenca/microcuenca “x”? 6. Dónde está ubicada geográficamente una cuenca/subcuenca/microcuenca “x”? 7. Cuántas cuencas hidrográficas de nivel “x” existen en el Ecuador? 8. Qué provincias abarca una cuenca hidrográfica “x”? 9.Cuál es el río principal de una cuenca hidrográfica “x”? 10.Cuál es la longitud del cauce principal de una cuenca hidrográfica “x”? 11.Cuál es el cauce más largo de una cuenca/subcuenca/microcuenca “x”? 12.Cuál es la longitud del cauce más largo de una cuenca hidrográfica “x”? 13. Cuáles son los ríos perenes de la cuenca hidrográfica “x”? 14. Qué afluentes desembocan el río “x”? 15. Cuántas lagunas existen en la provincia “x”? por cantones o parroquias 16. Cuántas lagunas existen en el cantón? 17.Cuál es el área de la laguna “x”? 18.Cuál es la laguna más grande del Ecuador? 19. En qué provincias están ubicadas las lagunas más grandes del Ecuador? 20. En dónde está ubicada geográficamente la laguna “x”? 	

3. Resultados y discusión

Para la creación de la ontología se adoptó una propuesta *bottom-up*, en el cual las ontologías seleccionadas para reutilización son integradas para cubrir un objetivo específico dentro de un contexto específico.

Cuatro escenarios de la metodología NeOn fueron usados para crear un modelo semántico que permita representar el conocimiento en el dominio de la IG hídrica ecuatoriana: escenario 1-“de la especificación a la implementación”, escenario 2-“reutilización y reingeniería de recursos no ontológicos”, escenario 3-“reutilización de recursos ontológicos” y escenario 8-“reestructuración de re-

recursos ontológicos”. A continuación se describen las actividades que forman parte de estos escenarios.

3.1. Selección y Reingeniería de Recursos No Ontológicos

Para la construcción de la ontología se reutilizaron recursos no ontológicos que han alcanzado cierto nivel de consenso. La reutilización de los recursos no ontológicos involucra su reingeniería hasta convertirlos en ontologías [16]. La Figura 1 muestra las actividades sugeridas en el escenario 2.

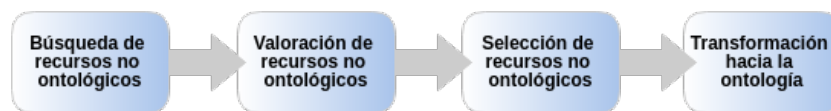


Figura 1. Actividades para la reutilización y reingeniería de recursos no ontológicos.

3.1.1 Búsqueda de Recursos No Ontológicos

La búsqueda de recursos no ontológicos se llevó a cabo principalmente sobre sitios Web de instituciones gubernamentales ecuatorianas vinculadas por una parte a la gestión de la IG, y por otra, aquellas vinculadas al dominio hídrico. Entre los sitios web revisados, se resalta el sitio del Instituto Geográfico Militar (IGM)¹, desde donde se obtuvieron los siguientes recursos no ontológicos: *Catálogo Nacional de Objetos. Versión 1.0 y Versión 2.0*.

Otro de los sitios Web para búsqueda de información ecuatoriana, y el de mayor importancia en el Ecuador desde el punto de vista que provee o enlaza información digital ecuatoriana es el sitio web del Sistema Nacional de información (SNI)². Desde el SNI, se han obtenido los siguientes recursos no ontológicos emitidos por el Consejo Nacional de Geoinformática (CONAGE)³: *Perfil Ecuatoriano de Metadatos*, basado en la norma ISO 19115, *Políticas Nacionales de Información Geoespacial*, y *Terminología para Información Geográfica* basado en la Norma ISO/TS 19104:2008.

En lo que respecta a la búsqueda de recursos en el dominio hídrico ecuatoriano, estos se han obtenido desde el sitio Web de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA)⁴ y son los siguientes:

Documento para la delimitación y codificación de unidades geográficas del Ecuador. Metodología PFAFSTETTER [10] y *Capítulo 1, Definición, infraestructura y clasificación de los recursos hídricos*, tomado de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos usos y Aprovechamiento del Agua [1].

¹ <http://www.igm.gob.ec/>

² <http://sni.gob.ec/acerca-del-sni>

³ <http://infdigital.sni.gob.ec/?p=1239>

⁴ <http://www.agua.gob.ec/>

3.1.2 Valoración y Selección de Recursos No Ontológicos

A partir del material recopilado se procedió a la valoración y selección de aquellos recursos relevantes que contribuyen a dar respuesta de las preguntas de competencia planteadas en la sección 2.2. Los recursos no ontológicos seleccionados cubren dominios desde el geográfico al hídrico y están disponibles en diferentes formatos tales como: PDF o XLS.

El proceso de selección involucró una revisión exhaustiva de la terminología contenida en los recursos y fundamentalmente utilizando el criterio del consenso del que gozan estos recursos a nivel nacional. Así por ejemplo, el catálogo de objetos *Perfil Ecuatoriano de Metadatos (PEM)* usa estándares internacionales de la ISO, por lo que es de uso obligado para las instituciones gubernamentales que generan IG, y para instituciones privadas que con fondos del estado generan IG.

3.1.3 Transformación de los Recursos No Ontológicos hacia la Ontología

Desde los recursos no ontológicos se tomaron los esquemas y conceptos relevantes para la resolución de las preguntas de competencia sobre la ontología. Estos conceptos fueron formalizados y transformados a ontologías usando las actividades descritas en los escenarios 3 y 8 de la metodología NeOn (descritos en la siguiente sección). Cada recurso aportó diferentes elementos a la ontología final. Por ejemplo, desde el *Catálogo Nacional de Objetos. Versión 2.0* se incorporaron definiciones, categorías, subcategorías, geometrías y atributos con las que se representan los fenómenos hídricos en el Ecuador. Desde el *Documento de delimitación y codificación de unidades geográficas del Ecuador* se agregaron los 5 niveles de unidades hidrográficas utilizadas oficialmente en el Ecuador.

La siguiente actividad en la creación de la ontología fue la selección y reingeniería de recursos ontológicos que se describe a continuación.

3.2. Selección y Reingeniería de Recursos Ontológicos

El reciente incremento del número de ontologías disponibles en la Web hace posible su reutilización, lo que se traduce en reducción de tiempo y esfuerzo en el proceso de construcción del modelo ontológico. Adicionalmente, la reutilización de recursos ontológicos da la posibilidad de refinar el documento de especificación de requerimientos de la ontología, a partir de axiomas o definiciones encontradas en las ontologías candidatas a la reutilización [4]. Sin embargo, las ontologías candidatas a reutilizar pueden ser más extensas de lo requerido o ajustarse parcialmente al documento de especificación de requerimientos, siendo necesario por tanto la reutilización total o parcial, o la reestructuración de los recursos ontológicos seleccionados.

La Figura 2 esquematiza las actividades identificadas para la reutilización y reestructuración de recursos ontológicos de la IG en el dominio hídrico ecuatoriano.

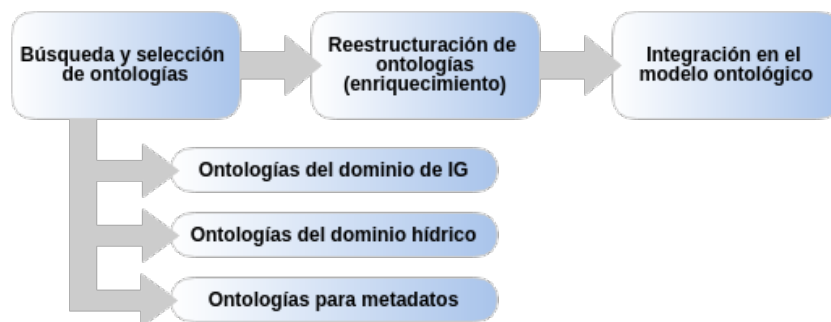


Figura 2. Actividades para la reutilización y reestructuración de recursos ontológicos.

3.2.1 Búsqueda y Selección de Recursos Ontológicos

Para esta actividad se buscaron ontologías que cubran los requisitos especificados en el DERO. Para ejecutar el proceso de búsqueda se utilizaron motores de recursos semánticos como Watson⁵ y Swoogle⁶. En el dominio hídrico se encontraron más de 40 resultados y en el dominio geográfico más de 100 resultados. Algunas de las ontologías encontradas para la representación de conocimiento en el dominio hídrico fueron: surfhydrocore⁷, hydrontology⁸ o Urba-enb⁹. Un ejemplo de ontologías encontradas para la representación de la IG son: *NeoGeo Geometry*¹⁰, *WGS84 vocabulary*¹¹, *ISO 19115:2003*¹² o *GeoSPARQL*¹³.

Las ontologías candidatas fueron analizadas con la librería de código abierto Protégé¹⁴. Esta herramienta, entre otras funcionalidades permite abrir y editar ontologías, además de soportar los lenguaje OWL¹⁵ y OWL2¹⁶. En el análisis de las ontologías, se consideraron principalmente dos aspectos: el idioma de representación, considerando únicamente aquellas ontologías en español, cumpliendo así con el requerimiento no funcional del DERO; y el nivel de granularidad, descartando ontologías genéricas o globales debido las dificultades que estas causan

⁵ <http://watson.kmi.open.ac.uk>

⁶ <http://swoogle.umbc.edu/>

⁷ <https://svn.sdsc.edu/repo/WATER/CUAHSI/OntologyOwl/StarTree.Current/ontology/>

⁸ http://mayor2.dia.fi.upm.es/oeg-upm/files/hydrontology/hydrOntology_GeoLinkedData.owl

⁹ <http://cui.unige.ch/isi/onto/2010/>

¹⁰ <http://geovocab.org/geometry>

¹¹ <http://www.w3.org/2003/01/geo/>

¹² <http://loki.cae.drexel.edu/wbs/ontology/2004/09/iso-19115>

¹³ <http://www.opengeospatial.org/standards/geosparql>

¹⁴ <http://protege.stanford.edu/>

¹⁵ <http://www.w3.org/2001/sw/wiki/OWL>

¹⁶ <http://www.w3.org/TR/owl-overview/>

por la tendencia a contener muchas más definiciones que la mayoría de aplicaciones normalmente necesitan [4].

De esta manera, las ontologías que se reutilizaron para el modelo ontológico de la IG en el dominio hídrico ecuatoriano fueron: *HydroOntology*, *ISO 19115*, *Provenance*¹⁷, y *GeoSPARQL*.

3.2.2 Reestructuración de las Ontologías Seleccionadas

En las siguientes secciones se describe brevemente el proceso utilizado para la reutilización y/o reestructuración de las ontologías seleccionadas.

a) Reutilización y reestructuración de *HydrOntology* (Ontología del dominio hídrico)

HydrOntology ha sido desarrollada por el Grupo de Ingeniería Ontológica de la Universidad Politécnica de Madrid (OEG)¹⁸. Esta ontología trata de cubrir la mayor parte de los conceptos del dominio hídrico, contiene más de ciento cincuenta (150) conceptos relevantes relacionados con hidrografía (por ejemplo, ríos, embalses, lagos, canales, y otros), 34 relaciones, 66 atributos y 256 axiomas. El modelo semántico *hydrOntology* contiene la mayoría de los conceptos del dominio hídrico ecuatoriano, reflejados en el catálogo nacional de objetos geográficos del Ecuador (recurso no ontológico reutilizado, tratado en la sección 3.1) y cubre completamente lo requerido por las preguntas de competencia del DERO en lo referente al dominio hídrico.

A partir del modelo definido por *hydrOntology*, se reutilizaron los conceptos coincidentes. Sin embargo, se hizo necesario la extensión de *hydrOntology*, particularmente, para representar el fenómeno de las cuencas hidrográficas según lo establecido por la normativa ecuatoriana, que define 5 niveles de unidades hidrográficas.

b) Reutilización de *GeoSPARQL* (Ontología del dominio de la IG)

*GeoSPARQL*¹⁹ es a día de hoy un estándar del OGC, que soporta tanto la representación como la consulta de datos geoespaciales sobre la Web Semántica, para esto, *GeoSPARQL* define un vocabulario para representar datos geoespaciales y define una extensión al lenguaje de consultas SPARQL [7]. *GeoSPARQL*, define tanto la topología como la geometría utilizando conjunto de clases, propiedades y tipos de datos a partir de un diseño modular; esto facilita la reutilización y/o extensión de la ontología para la representación de la IG en un dominio o aplicación particular. Para la organización de la IG, *GeoSPARQL* utiliza las clases *geo:Feature* y *geo:Geometry*.

¹⁷ <http://www.w3.org/ns/prov-o>

¹⁸ <http://www.oeg-upm.net/>

¹⁹ <http://www.opengeospatial.org/standards/geosparql>

Para la representación de la geometría de la IG ecuatoriana, se reutilizó la clase: *geo:Geometry* (*linestring*, *polygon* y *multipolygon*) que enlaza a los fenómenos representados a través de la propiedad *hasGeometry*, y para la serialización de estas geometrías se trabajó con el formato WKT²⁰ utilizando la propiedad *hasSerializacion*.

Adicional a sus clases, GeoSPARQL define relaciones topológicas según los modelos Egenhofer [3], RCC-8 [8] y Simple Features²¹, y también define un conjunto de operaciones espaciales no topológicas (*geof:distance*, *geof:buffer*, *geof:convexHull*, *geof:intersection*, *geof:union*, *geof:difference*, *geof:symDifference*, *geof:envelope* y *geof:boundary*) que son utilizadas como extensión del lenguaje de consultas SPARQL, lo cual permite la consulta de información aprovechando las propiedades de localización propias de la IG. Estas funciones espaciales que ofrece GeoSPARQL, pueden ser explotadas en una interfaz de visualización de la información almacenada.

c) Reutilización del ISO 19115 (Ontología para representar Metadatos de la IG)

Una de las ontologías que destaca en el proceso de descripción de metadatos de la IG es la norma ISO19115-2003. En este trabajo se ha reutilizado esta ontología, debido a que el Perfil Ecuatoriano de Metadatos (PEM) está basado en esta norma y es de uso oficial en el territorio nacional.

A partir de la ontología ISO19115, se modeló únicamente el concepto de “*escala*”, con la posibilidad de ampliar el modelo ontológico para representar todos los metadatos requeridos por el PEM. Este concepto está descrito en la ontología ISO19115 con la propiedad “*denominator*” haciendo referencia al número de denominador de la escala. Por ejemplo para la escala 1:50000 el denominador sería 50000 por lo tanto el número denominador es almacenado en el modelo ontológico.

d) Reutilización de PROV-O (Ontología para representar la procedencia de las fuentes de datos)

La ontología PROV-O, constituye una recomendación de la W3C²² que proporciona un conjunto de clases propiedades y restricciones que pueden ser utilizadas para representar e intercambiar la información de procedencia de la IG. Esta ontología también puede ser especializada para crear nuevas clases y propiedades para modelar información de procedencia desde diferentes aplicaciones y dominios. Esta ontología está basada en el modelo de datos de procedencia (PROV-DM)²³ generado por la misma W3C, en donde se modela información

²⁰ Well Know Text (WKT) es una codificación estandarizada, en formato de texto para describir objetos espacio vectoriales

²¹ <http://www.iso.org/>

²² <https://www.w3.org/>

²³ <http://www.w3.org/TR/2013/REC-prov-dm-20130430/>

acerca de entidades, actividades, personas, organizaciones responsables o involucradas en la producción de los datos, etc.; esta información de procedencia puede ser usada para valorar sobre la calidad, confiabilidad o integridad de los datos.

En la construcción del modelo ontológico se reutilizó el componente de PROV-O que define los agentes responsables de generación de la información. Los agentes responsables de la generación de la información en la ontología PROV-O se sub clasifican en organizaciones, personas y agentes de software, de estos se ha reutilizado únicamente la clase que define la organización responsable: “*organization*”. Sin embargo, es posible la reutilización de más clases, pero en este trabajo se utiliza únicamente una clase como prototipo de modelo.

La reutilización de PROV-O, como parte del modelo ontológico está justificado debido a que la IG se integra desde diferentes fuentes y en este contexto el conocimiento de la procedencia de las fuentes se torna importante para la valoración por parte del usuario sobre la confiabilidad de la IG consultada.

3.2.3 Integración del modelo ontológico

El modelo ontológico resultante de la reutilización de las ontologías *GeoSPARQL*, *Prov-O*, *ISO19115* y la reestructuración de *hydrOntology* para la representación de la IG en el dominio hídrico ecuatoriano, es el que se muestra en forma de metamodelo en la Figura 3.

En la ontología resultante se crearon 5 clases, dependientes de la clase principal “Cuenca_Hidrográfica” de *hydrOntology*, según la subdivisión para las unidades hidrográficas ecuatorianas. Estas nuevas clases corresponden a los 5 niveles de unidades hidrográficas del Ecuador según la metodología Pfafstetter. En lo que se refiere a las propiedades de los objetos “*Object Properties*”, en *hydrOntology*, están implementadas una serie de propiedades que permiten modelar la información de forma detallada, indicando la relación que existe entre objetos como: Ríos, Lagunas, Cuencas, Lagos, etc.; ejemplos de estas propiedades son: “*parte_de*”, “*desagua_en*”, “*esta_en*”, etc., de aquí que, a través de estas relaciones se podría indicar por ejemplo que: el río *x* desagua en el lago *y*. Adicional a estas propiedades, se implementaron dos nuevas propiedades que son: “*contiene_a*” y “*pertenece_a*”. Estas dos nuevas propiedades permiten relacionar las unidades hidrográficas según sus niveles de clasificación, de la siguiente manera:

- Una cuenca de nivel 1 *contiene_a* una cuenca de nivel 2.
- Una cuenca de nivel 2 *contiene_a* una cuenca de nivel 3, así sucesivamente.
- Una cuenca de nivel 5 *pertenece_a* una cuenca de nivel 4
- Una cuenca de nivel 4 *pertenece_a* una cuenca de nivel 3, así sucesivamente.

Finalmente, se decidió implementar nuevas propiedades de superficie y perímetro exclusivas para la clase “*Cuenca_Hidrográfica*”, porque las propiedades existentes de superficie y perímetro de *hydrOntology* presentaron un error en la fase de evaluación de la extensión realizada sobre *hydrOntology*. A esta extensión, enriquecimiento y especialización de *hydrOntology* se le denominó ***hydrOntologyEC***. En resumen para llegar a *hydrOntologyEC* fue necesario:

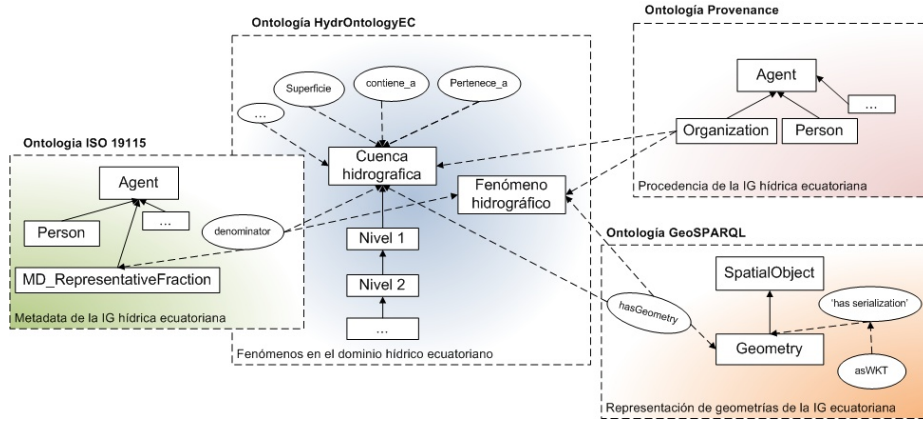


Figura 3. Metamodelo ontológico de la IG en el dominio hídrico ecuatoriano.

- Agregar las clases: Nivel 1, Nivel 2, Nivel 3, Nivel 4, Nivel 5 que representan los niveles de las cuencas hidrográficas ecuatorianas y son subclases de la clase “*Cuenca_Hidrográfica*”.
- Agregar las propiedades: “*superficie_cuenca*”, “*nombre_cuenca*” y “*permetro_cuenca*” cuyo dominio es “*Cuenca_Hidrográfica*”.
- Establecer y agregar las propiedades “*contiene_a*” y “*pertenece_a*” para relacionar a los objetos de Cuencas Hidrográficas.

4. Conclusiones

La principal contribución de este trabajo consiste en la creación de un modelo semántico que permita representar el conocimiento en el dominio de la información geográfica hídrica ecuatoriana. Tanto la definición de los requisitos del modelo ontológico como su construcción tomaron como base las guías propuestas en la metodología NeOn. Diferentes recursos ontológicos y no ontológicos relacionados al dominio fueron considerados para crear un modelo comprensible y extensible.

La ontología resultante está definida como una red de ontologías que conjugan el dominio hídrico (ontología: hydrOntologyEC), la IG (geo-ontología: GeoSPARQL), la procedencia de las fuentes (ontología: Prov-O), y los metadatos de la información representada (ontología: ISO19115). Con el modelo ontológico construido es posible modelar el conocimiento a nivel local y alcanzar este conocimiento compartido, permitiendo además, integrar múltiples enfoques del diseño de la IG en el dominio hídrico ecuatoriano.

Como trabajo futuro se espera ejecutar diferentes pruebas a la ontología propuesta. Particularmente, se busca medir la usabilidad y la calidad de la modelación.

Referencias

1. Asamblea Nacional: Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua. (2014)
2. Bermudez, L. E and Piasecki, M.: Role of ontologies in creating hydrologic metadata. In International Conference on HydroScience and Engineering (2004)
3. Egenhofer, M.: A formal definition of binary topological relationships. Lecture Notes in Computer Science **367** (1989) 457–472
4. Fernández-López, M., Suárez-Figueroa, M.C., Gomez-Pérez, A.: Ontology development by reuse. In Ontology Engineering in a Networked World (2012)
5. Gruninger, M., Fox, M.S.: Methodology for the design and evaluation of ontologies. International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI95) (1995)
6. Hornberger, G.M.a.: Challenges and opportunities in the hydrologic sciences. (2012)
7. OGC: Ogc geosparql - a geographic query language for rdf data. (2012)
8. Randell, D., Cui, Z., Cohn, A.G.: A spatial logic based on regions and connection. 3rd International Conf Knowledge Representation and Reasoning (1992) 165–176
9. Scholten, H., Kassahun, A., Refsgaard, J.C., Kargas, T., Gavardinas, C., Beulens, A.J.: A methodology to support multidisciplinary model-based water management. Environmental Modelling & Software **22**(5) (2007) 743 – 759 The Implications of Complexity for Integrated Resources.
10. SENAGUA: Delimitación y codificación de unidades geográficas del Ecuador. metodología pfaftetter. (2009)
11. Studer, R., Benjamins, V., Fensel, D.: Knowledge engineering: Principles and methods. Data & Knowledge Engineering **25**(1) (1998) 161 – 197
12. Suárez-Figueroa, M.: Neon methodology for building ontology networks: Specification, scheduling and reuse. (2010)
13. Suárez-Figueroa, M.: Neon methodology for building ontology networks: Specification, scheduling and reuse. Dissertations in Artificial Intelligence (2013)
14. Vilches-Blázquez, L.: Metodología para la integración basada en ontologías de información de bases de datos heterogéneas en el dominio hidrográfico. (2011)
15. Vilches-Blázquez, L., Rodríguez Pascual, A., Rodríguez, J.M., Poveda, M.A.B., Corcho, O.: An approach towards a harmonized framework for hydrographic features domain. XXIII International Cartographic Conference (2007)
16. Villazón-Terrazas, B., Gómez-Pérez, A.: A method for reusing and re-engineering non-ontological resources for building ontologies. In Ontology Engineering in a Networked Word (2012)