

HACIA UN METAMODELO PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL DE LOS RECURSOS HIDROLÓGICOS

TOWARDS A META-MODEL FOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT OF HYDROLOGICAL RESOURCES

José Armando Ordóñez-Córdoba, PhD

*Fundación Universitaria de Popayán
Popayán, Colombia
armandoordonez@docente.fup.edu.co*

Juan Carlos Corrales, PhD.

*Universidad del Cauca
Popayán, Colombia
jcorral@unicauca.edu.co*

José Luis Arciniegas, PhD.

*Universidad del Cauca
Popayán, Colombia
jlarci@unicauca.edu.co*

Apolinar Figueroa, PhD

*Universidad del Cauca
Popayán, Colombia
apolinar@unicauca.edu.co*

(Recibido el 20-05-2014. Aprobado el 20-06-2014)

Resumen. Gran parte del desarrollo económico del suroccidente colombiano está relacionado con el uso sostenible de los recursos naturales. En el tema de los recursos hidrológicos, un primer paso para la gestión eficiente del agua es el consenso sobre los mecanismos necesarios para la preservación del agua y las herramientas metodológicas para soportar estos procesos. Este artículo propone una abstracción independiente del lenguaje para los conceptos asociados con los estudios hidrológicos. Para conseguir esta abstracción se identificaron unos conceptos generales y realizó un metamodelo del dominio de los estudios ambientales, que ofrece una descripción de los procesos, variables y resultados de los análisis hidrológicos. Finalmente, se muestra un piloto de la implementación de este sistema.

Palabras clave: Cuidado del agua; Metamodelo; Sistemas de información.

Abstract. Much of Economic development of southwestern of Colombia is closely related to the sustainable use of natural resources. On the issue of water resources, the first step for efficient hydric resources management is the development of consensus around the necessary mechanisms for preservation of such resources, as well as around the methodological tools for supporting such processes. This paper proposes an language independent abstraction for hydrological studies. To achieve this abstraction, generic concepts are described and a unified meta-model is presented. The meta-model offers a description of the processes, variables and results that are involved in the hydrological analysis. Finally we show a pilot implementation of this system.

Keywords: Water care; Metamodel; Information systems.

1. INTRODUCCIÓN

Para la consolidación de un proceso eficaz de gestión hídrica, es necesario contar con un consenso alrededor de las herramientas metodológicas para la gestión ambiental. Solamente a través de convenciones comunes y acuerdos técnicos será posible, para las personas encargadas de la toma de decisiones en las comunidades locales, regionales y nacionales, descubrir, adquirir, explotar y compartir información geográfica vital para la gestión ambiental. Uno de los pasos más importantes en la consecución de un consenso alrededor de la construcción de una herramienta para la gestión ambiental, es la abstracción de algunos procesos involucrados en los estudios ambientales que describa sus detalles, que sirva de base para la generación de métodos estándares para la gestión ambiental y que soporte la generación de herramientas software igualmente estandarizadas.

Los procesos de gestión ambiental agrupan un conjunto amplio de análisis, inician con un modelado de la realidad para su tratamiento formal, posteriormente incluyen la selección de una herramienta metodológica para la determinación del estado del recurso que permita, finalmente, la toma de decisiones sobre un recurso. Por ejemplo en el caso del agua se puede determinar la calidad o la escasez. Las herramientas metodológicas involucradas en estos procesos de gestión tienen, generalmente, gran cantidad de variables que incluyen, entre otras: las características climáticas de la región, la topografía de la zona e información histórica sobre condiciones existentes. Esta situación representa para las instituciones dos graves problemas [1]:

- Por la variedad de métodos para utilizar en el análisis del recurso hídrico, existe falta de consenso (local, regional y nacional) en lo concerniente a la toma de decisiones sobre el recurso hídrico. Por lo anterior, es muy común que aparezcan múltiples perspectivas sobre la calidad o la abundancia de agua en una región según el tipo de indicador usado.
- El segundo es la necesidad de las instituciones encargadas de la gestión ambiental en el contexto nacional (como el Ideam [2]) o en lo regional (como las corporaciones autónomas regionales como Corpoamazonia [3]) de contar con un soporte informático para cada una de las metodologías. Esto acarrea gastos asociados con las licencias de uso con los procesos de capa-

citación en cada una de las plataformas o sistemas. Cada vez que se quiere analizar una región diferente o se intenta asumir las directrices de una institución gubernamental (como el Ideam o el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [4]) que incluye diferentes análisis.

En este escenario, cada una de las instituciones cuenta con recursos tecnológicos (hardware y software) para realizar algunos análisis hídricos. Sin embargo, por la heterogeneidad de plataformas informáticas, redes de comunicaciones, sistemas operativos y aplicaciones, es prácticamente imposible compartir dichos recursos de procesamiento de forma automática con las demás instituciones por la falta de una infraestructura telemática que permita integrar los servicios provistos por estos sistemas de forma transparente para los usuarios y que tiene repercusiones en la duplicidad de funcionalidades e incremento en los costos. Por medio de la definición de un metamodelo se puede lograr una abstracción del proceso de gestión ambiental. Dicha abstracción provee una correcta y eficiente relación lógica entre los estudios ambientales y la manera como éstos pueden ser soportados por herramientas tecnológicas.

La importancia de los metamodelos, como herramienta de abstracción, se ha resaltado en diversas áreas. Dicha importancia viene del hecho de que un metamodelo permite guardar el conocimiento y reutilizar gran parte de las soluciones abstraídas. En el ámbito de la gestión ambiental el metamodelo facilitará la definición de arquitecturas software para la gestión ambiental distribuida y el desarrollo de herramientas que soporten una gestión integral de los recursos ambientales. Trabajos previos han abordado el uso de lenguajes de modelado para estandarizar el conocimiento de diferentes actores del área ambiental. En [5] se presenta el sistema de soporte a la toma de decisiones llamado Danubia, que usa UML para estandarizar los conceptos y el lenguaje de los actores del proyecto. En [6] se presenta un método para documentar y desarrollar de forma unificada y estandarizada modelos para balance hídrico y programación de irrigación. Los trabajos previos no muestran una abstracción para el dominio de los estudios hidrológicos y se centran en otros aspectos de la gestión ambiental del recurso hídrico. En el presente trabajo se presenta un metamodelo para la gestión de los estudios hidrológicos con UML. Se seleccionó UML puesto que la semántica de los elementos del dominio de

los estudios hidrológicos se pueden asociar con la de UML, además, la definición de clases y asociaciones propias de UML es suficiente para el metamodelo para la gestión de los estudios hidrológicos.

El resto de este artículo se encuentra estructurado en seis secciones: la segunda sección presenta una descripción de los metamodelos. La tercera parte presenta la metodología para la construcción del metamodelo. La cuarta describe detalladamente el metamodelo propuesto. La quinta sección presenta la aplicación del metamodelo en un modelo de estudios ambientales hidrológicos dentro de una plataforma web. Finalmente, en la sexta, se presentan las conclusiones y el trabajo futuro.

2. METAMODELOS

Un modelo es una simplificación de un sistema construido con un fin específico en mente que debe ser capaz de resolver algunas preguntas en lugar del sistema real. Por su parte, un metamodelo es un modelo que define el lenguaje para expresar un modelo [7], y también se puede definir como un modelo de modelos [8]. Recientemente, las principales organizaciones dedicadas a la definición de estándares como OMG (Object Management Group) [9] han resaltado la importancia de establecer las reglas adecuadas (metamodelos) para modelar las nuevas arquitecturas empresariales que dependen de elementos tecnológicos que soportan tanto sus procesos productivos como administrativos.

Una limitante de un modelo es la especificidad de la representación de una realidad con respecto a la visión compartida de una persona o grupo de personas, lo que hace que los modelos sean estáticos y poco modificables [7]. Por su parte, un metamodelo define elementos esenciales de un conjunto de modelos y no las características específicas que soporta y definir las estructuras y elementos esenciales para armar cualquier modelo. Por lo anterior, se pueden generar metamodelos para un entorno de la realidad y, a partir de este metamodelo, determinar modelos más específicos para las necesidades de los diferentes entornos y los no creados todavía.

Un metamodelo no es esencial para el desarrollo de un modelo, pero sí es necesario para la viabilidad del mismo en cuanto a la dinámica de requisitos y entornos variables y complejos, como lo son los es-

tudios ambientales. La OMG define una arquitectura basada en varios niveles que intervienen en el modelado de un sistema [10]:

- Nivel M0 – Instancias: modela el sistema real y sus elementos son las instancias que componen dicho sistema (objetos en la implementación).
- Nivel M1 – *Modelo del sistema*: representa el modelo del sistema concreto.
- Nivel M2 – *El modelo del modelo (meta-modelo)*: en el nivel M2 se definen los elementos que intervienen en la definición de un modelo en el nivel M1, en el caso de un modelo UML de un sistema, en el nivel M2 se definen los conceptos de “clase”, “atributo” o “asociación”.
- Nivel M3 – *El modelo de M2 (meta-metamodelo)*: en este nivel se definen los elementos que constituyen los distintos lenguajes de modelado. El concepto de “clase” definido en UML (que pertenece al nivel M2) es una instancia del nivel M3 en la que se define en forma precisa dicho concepto, por ejemplo: “una clase es un clasificador, y tiene asociado un comportamiento, además dispone de un conjunto de atributos y de operaciones”.

3. METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL METAMODELO

La OMG define dos posibilidades a la hora de determinar lenguajes específicos de dominio: o bien se define un nuevo lenguaje (alternativa de UML), o bien se extiende el propio UML y se especializan algunos de sus conceptos y se restringen otros, pero se respeta la semántica original de los elementos de UML (clases, asociaciones, atributos, operaciones, transiciones, etc.) [11][12]. Para definir un nuevo lenguaje, se utiliza MOF [13], para describir lenguajes de modelado. Por otro lado, hay situaciones en las que es suficiente con extender el lenguaje UML con mecanismos recogidos en lo que se denomina Perfiles UML (UML Profiles). En [14], se expresan las ventajas e inconvenientes de cada una de las alternativas, y la segunda es la opción en la base del desarrollo del metamodelo propuesto. Para el desarrollo del presente metamodelo se plantearon 4 fases:

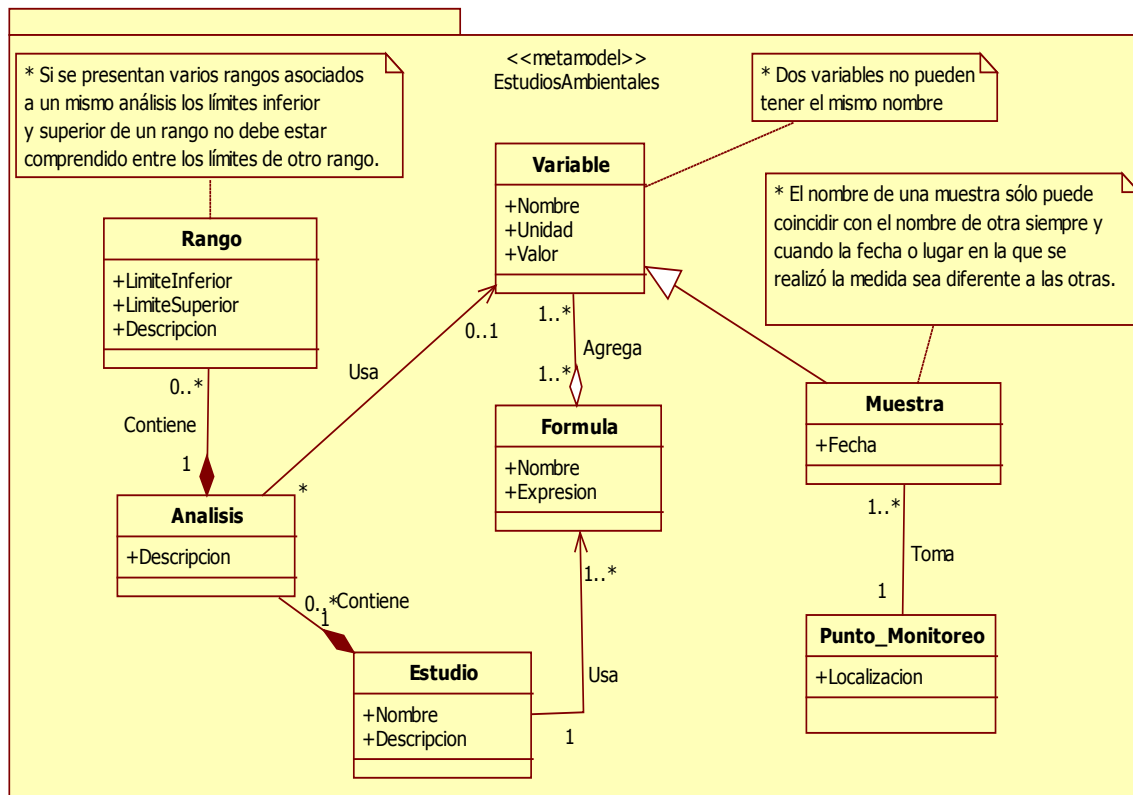


Figura 1. Metamodelo en el nivel más alto de abstracción

3.1. Abstracción y análisis del dominio

En la primera fase de desarrollo, inicialmente, se consultan estudios, documentos, artículos y expertos con el fin de identificar los componentes y procesos concernientes al dominio que se ha de modelar. Posteriormente, se realiza un proceso de abstracción que tiene como propósito disminuir la complejidad e identificar aquellos elementos prioritarios para el dominio.

3.2. Construcción del metamodelo

En primera instancia, se definirá o seleccionará un lenguaje de representación para el metamodelo, que se adecue a las necesidades planteadas en la fase uno. Luego, se procede a realizar el diagrama con los elementos más abstractos para obtener una arquitectura de nivel M2 del modelado del sistema que toma como base las pautas establecidas por el lenguaje seleccionado o definido anteriormente.

3.3. Creación del modelo

A partir del metamodelo propuesto en este artículo se hará el modelado de un sistema específico para obtener una arquitectura de nivel M1, el cual debe resolver un problema con base en los recursos hidrológicos para facilitar el uso de varias entidades relacionadas con dichos recursos de forma distribuida y contribuir en la centralización de la información y la reducción de costos en la implementación de dichos sistemas.

3.4. Pruebas del metamodelo

Las pruebas del metamodelo se realizarán sobre un modelo creado con la ayuda de instituciones o personas que trabajan en campos relacionados con los recursos hidrológicos. Este modelo se aplicará en una aplicación web de gestión de recursos hidrológicos.

4. METAMODELO PROPUESTO

Para la definición del metamodelo se presentará una extensión de la especificación UML 2.0, en la que se definen las relaciones permitidas entre los elementos del modelo y el uso de las metaclasses de un metamodelo dentro de un perfil UML. Como aparece en muchos de los perfiles de la OMG, el metamodelo se captura como un modelo orientado a objetos expresado con un subconjunto restringido de la notación UML. Algunos elementos que se utilizan en el metamodelo son: clases con atributos y operaciones, asociaciones binarias y la estructura general del metamodelo se muestra en paquetes de acuerdo con el nivel de detalle, las restricciones se especificarán con lenguaje natural, la semántica de cada elemento se describe junto a cada diagrama. A continuación se muestra el metamodelo en su nivel más alto de abstracción (Figura 1) y los dos perfiles que se consideraron para el mismo (Figura 2 y Figura 3). Posteriormente, se hace una descripción de las metaclasses que pertenecen a cada perfil.

4.1. Perfil muestras

En este perfil se agrupan todos los conceptos asociados con la toma de muestras en campo cuando se requieren para algún tipo de variable. A continuación se describen las metaclasses del perfil muestras.

4.1.1. Punto_monitoreo:

Hace referencia e identifica una ubicación geográfica del lugar en el que se toman muestras de algún tipo, para su posterior estudio. Tiene una propiedad:

- Localización: propiedad de tipo texto que identifica la ubicación geográfica exacta del punto de muestra.

4.1.2. Variable

Corresponde a las variables en un estudio. Tiene las siguientes propiedades:

- Nombre: variable de tipo cadena que sirve para identificarla.
- Unidad: cadena de caracteres que ayuda a identificar la unidad de medida relacionada con la variable, ejemplos de estas unidades pueden ser: metros, grados centígrados, ml, entre otros.

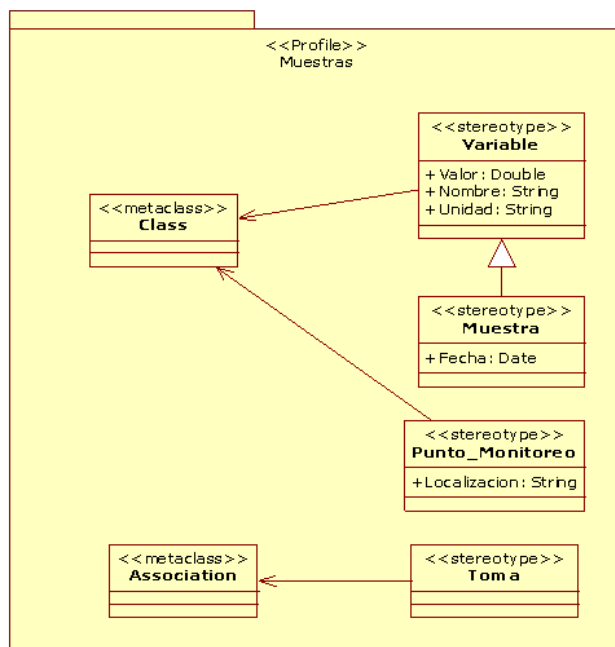


Figura 2. Perfil muestras

- Valor: valor real que almacena el equivalente numérico a una variable.
- Presenta la siguiente restricción: dos variables no pueden tener el mismo nombre.

4.1.3. Muestra

Corresponde al registro de una muestra o medida tomada en un punto de monitoreo, que extiende de la metaclass variable y, por lo tanto, posee todas sus características. Adicional a las anteriores presenta la siguiente propiedad:

- Fecha: variable que da información del momento exacto en el que se tomó la muestra. Presenta la siguiente restricción: el nombre de una muestra sólo puede coincidir con el nombre de otra, siempre y cuando la fecha o lugar en la que se realizó la medida sea diferente a las otras.

4.2. Perfil estudios

Este perfil se relaciona con el análisis matemático o sistemático de las variables almacenadas u obtenidas del perfil muestras. A continuación se describen las metaclases del perfil estudios.

4.2.1. Estudio

Hace referencia e identifica un estudio que usa una o más fórmulas y que, además, puede estar compuesto por una serie de análisis. Tiene las siguientes propiedades:

- Nombre: propiedad de tipo cadena que identifica el nombre o título del estudio.
- Descripción: propiedad de tipo cadena que puede almacenar información específica sobre el estudio.

4.2.2. Fórmula:

Representa una fórmula matemática que se aplica para conseguir los resultados de un estudio. Tiene las siguientes propiedades:

- Nombre: variable de tipo cadena que sirve para identificar la fórmula.
- Expresión: propiedad de tipo cadena que identifica cómo está formada la fórmula.

La operación calcular se encarga de realizar los cálculos necesarios para encontrar el resultado de una expresión.

Presenta la siguiente restricción: dos o más fórmulas pueden tener el mismo nombre siempre y cuando las expresiones asociadas con éstas sean diferentes.

Tabla 1. Ejemplo de rangos de valores

0 – 5	Mala calidad
6 – 10	Calidad regular
11 – 15	Buena calidad

4.2.3. Rango:

Define un intervalo que ayuda a realizar una comparativa de variables en un determinado análisis. Tiene las siguientes propiedades:

- Límite_superior: variable entera que identifica el límite superior del intervalo.
- Límite_inferior: variable entera que identifica el límite inferior del intervalo.
- Descripción: propiedad de tipo cadena que describe la equivalencia de una variable o valor que esté comprendido entre el intervalo especificado.

Presenta la siguiente restricción: si se presentan varios rangos asociados con un mismo análisis los límites inferior y superior de un rango no debe estar comprendidos entre los límites de otro rango. Como se muestra en la Tabla 1.

4.2.4. Análisis

Contiene o agrupa una serie de rangos relacionados con el análisis o interpretación de una variable. Tiene la siguiente propiedad:

- Descripción: cadena de caracteres que describe el análisis realizado o el uso de un conjunto de rangos que ayuden a identificar aspectos de las variables.

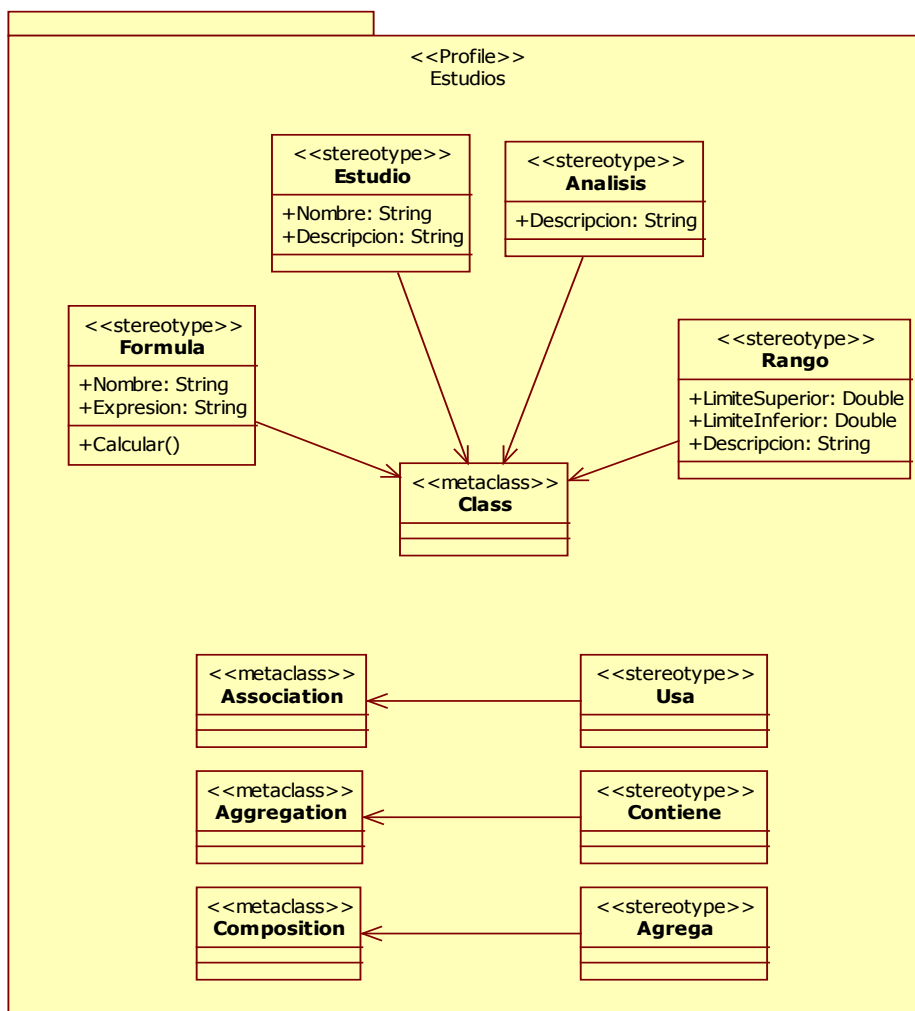


Figura 3. Perfil estudios

5. PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

Con el fin de verificar las potencialidades del metamodelo, se realizó una implementación dentro de una aplicación web que se basaba en dicho metamodelo. El prototipo incluía un modelo para la gestión del recurso hídrico que sirvió de base para el desarrollo de una herramienta de gestión web basada en AJAX y JSF (Java server faces), que permite la configuración de los estudios hidrológicos y el registro de toma de datos que permiten el cálculo de los estudios (Ver Figura 4).

El prototipo ofrece una interfaz que permite al usuario crear estudios, rangos, valores y colores; de igual forma el sistema permite asociar un algoritmo específico para cada estudio. El sistema cuenta con una calculadora de algoritmos basada en AJAX para la creación y edición de algoritmos para configurar las fórmulas en las que se pueden configurar las variables, las operaciones y los valores de la fórmula que define el algoritmo. De igual forma el sistema cuenta con un módulo de alimentación para realizar el registro de los datos de las muestras, y el análisis de las mismas, a partir de los resultados de los estudios para el análisis de los datos, se tienen dos posibilidades, analizar los datos por porcentaje de variables o analizar la tendencia temporal de los valores de las variables así como de los estudios realizados.

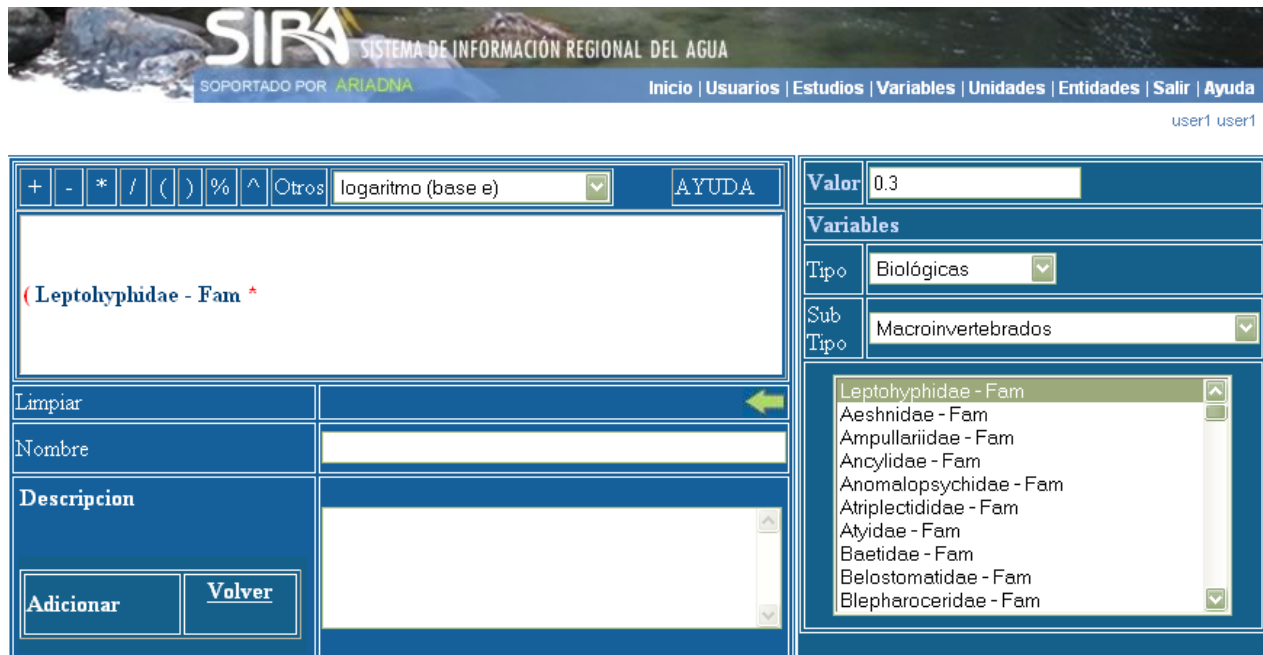


Figura 4. Plataforma para la gestión de los estudios hidrológicos

6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Los metamodelos son esquemas que se utilizan en diferentes áreas para orientar la construcción de modelos a partir de éstos. Un metamodelo para la gestión de los estudios hidrológicos permite que las entidades y personas encargadas de gestionar dichos estudios lleguen a un consenso en la forma en la que se llevan a cabo dichos estudios para obtener sistemas específicos que contribuyan a una homogenización de la información.

En este artículo se presentan los avances en la *construcción del metamodelo* para la gestión de los estudios hidrológicos. Razón por la cual, como trabajo futuro, se llevarán a unas *pruebas del metamodelo más exhaustivas* contempladas en la metodología. Adicionalmente, se pretende utilizar los conceptos descritos como base para la implementación de una arquitectura en la nube que soporte la toma de decisiones. El metamodelo puede ser la base de la implementación de un XSD Schema para soportar el intercambio de información en un bus de servicios ambientales. Esta iniciativa usará los conceptos de Li et al.[15]. Finalmente, se pretende integrar onto-

logías que permitan avanzar hacia el modelado conceptual con conceptos de las ontologías que especifiquen más detalladamente las conceptualizaciones de este dominio de los recursos hidrológicos.

REFERENCIAS

- [1] S. Joaquín-Daza, "Gestión ambiental para sistemas productivos piscícolas, en ecosistemas altoandinos en el contexto de la producción más limpia," *Ambiente y Sostenibilidad*, Vol. 1 (1), pp. 18–24, 2013.
- [2] Página principal del Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. Disponible en: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/index.jsf>
- [3] Página principal de Corpoamazonia. Disponible en: <http://www.corpoamazonia.gov.co> (Accedido: agosto 2014).
- [4] Página principal del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php> (Accedido: agosto 2014).

- [5] R. Barthel, S. Janisch, N. Schwarz, A. Trifkovic, D. Nickel, C. Schulz, & W. Mauser, "An integrated modelling framework for simulating regional-scale actor responses to global change in the water domain". *Environmental Modelling & Software*, Vol. 23 (9), pp. 1095-1121, 2008.
- [6] P- Papajorgji, & T. M. Shatar. "Using the Unified Modeling Language to develop soil water-balance and irrigation-scheduling models". *Environmental Modelling & Software*, Vol. 19 (5), pp 451-459, 2004.
- [7] F. Jouault and J. Bézivin, "KM3: a DSL for Meta-model Specification," *Formal Methods for Open Object-Based Distributed Systems*, Springer, pp. 171–185, 2006.
- [8] B. Henderson-Sellers," On the mathematics of modelling, metamodelling, ontologies and modelling languages". Springer, 2012, 106p.
- [9] Página principal del Object Management Group site. Disponible en: <http://www.omg.org> (Accedido: Agosto 2014).
- [10] L. Fuentes & A. Vallecillo, "Una introducción a los perfiles UML," *Revista Novatica de la Asociación de Técnicos Informática-España*, N° 168, 2004, pp 6-11.
- [11] J. Bézivin & O. Gerbé, "Towards a precise definition of the OMG/MDA framework" 16th Annual International Conference on Automated Software Engineering (ASE 2001), pp. 273–280, 2001, San Diego, CA (USA)
- [12] A. G. Kleppe, J. B. Warmer, W. Bast, "MDA explained: the model driven architecture: practice and promise". Addison-Wesley Professional, 2003, 167p.
- [13] OMG Meta Object Facility Core, v2.0, Std., 2006. Disponible en: <http://www.omg.org> (Accedido: agosto 2014).
- [14] P. Desfray, "UML Profiles versus Metamodel extensions: An ongoing debate," *OMG's UML Workshops: UML in the Enterprise: Modeling Corba, Components, XML/XMI and Metadata Workshop*, pp. 6–9, 2000.
- [15] Y. Li, X.-L. Fang, and S.-X. Jiao, "A spatial decision support system for water resource management of Yellow River Basin in China," *Hydraulic Engineering*, p. 83, 2013.
- [16] Página principal del WC3 "W3C XML Schema Definition Language (XSD) 1.1 Part 1: Structure. 5 April 2012". Disponible en: <http://www.w3.org/TR/xmlschema11-1> (Accedido: agosto 2014).