

INSECTOS ACUÁTICOS COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA: UNA REPRESENTACIÓN SEMÁNTICA BASADA EN ONTOLOGÍAS

*Esmeralda Ramos¹, Vanessa Fernández¹, Claudia Cressa²,
Haydemar Núñez¹*

¹Laboratorio de Inteligencia Artificial, Centro de Ingeniería de Software y Sistemas Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 1040. Venezuela. ²Laboratorio de Ecología de Sistemas Acuáticos Continentales, Instituto de Biología Experimental. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. *esmeralda.ramos@ciens.ucv.ve.

RESUMEN

En los estudios de los ecosistemas de aguas corrientes los macroinvertebrados acuáticos han recibido una gran atención, principalmente por su importancia como indicadores biológicos. La razón es que estos insectos presentan una alta sensibilidad a los cambios ambientales, por lo que se utilizan como bioindicadores de la calidad del agua. El proceso de identificación de estos organismos está limitado por una serie de factores, entre los que destacan la falta de claves de la fauna acuática de los trópicos y el reducido número de expertos en el área. Adicionalmente, la información disponible se encuentra dispersa y en medios de difícil acceso. Con la finalidad de solventar algunas de estas dificultades y apoyar a los profesionales en esta área, se desarrolló una ontología de insectos acuáticos, la cual tiene como objetivos servir de repositorio de los conceptos y relaciones del dominio y facilitar la reutilización de este conocimiento. Como resultado, la ontología posibilitó la centralización y organización de la información y el conocimiento de experticia que se genera durante el estudio de los macroinvertebrados del orden Plecoptera en Venezuela, a la vez de estandarizar la terminología.

Palabras clave: Calidad del agua, bioindicadores, insectos acuáticos, Ingeniería Ontológica.

Aquatic insects as water quality indicators: a semantic representation based on ontologies

Abstract

In the ecosystems studies of flowing waters, the aquatic macro-invertebrates have received great attention, mainly because of its importance as biologic indicators. The reason is because these insects have high sensitivity to the environmental changes, therefore are used as bio-indicators of the water quality. The identification process of these organisms is limited by a series of factors, among which is most notably the lack of keys of the tropic aquatic fauna and the reduced number of experts in the area. Additionally, the available information is scattered and in difficult access means. With the objective of solving some of the difficulties and support the professionals in this area, an ontology of aquatic insects has been developed, which aims to serve as repository of the concepts and domain relationships and ease the reuse of this knowledge. As a result, the ontology enabled the centralization and organization of the information and the expertise knowledge that is generated during the study of macro-invertebrates from the Plecoptera Order in Venezuela, while standardizing the terminology.

Keywords: Water quality, bioindicators, aquatic insects, ontological engineering.

INTRODUCCIÓN

Una de las consecuencias de un desarrollo urbano acelerado, no planificado y sin criterios de preservación del ambiente es el deterioro de la calidad de las aguas continentales (ríos y lagos) y no continentales (océanos). Es así como los ecosistemas acuáticos están siendo afectados por diversos factores relacionados con este desarrollo, como son las grandes obras de ingeniería, la transformación del paisaje, los cambios en el uso de la tierra, la sobreexplotación de recursos, entre otros (Segnini, 2003). Resulta necesario entonces implementar mecanismos que permitan monitorear y evaluar las variaciones en las características físico-químicas del agua, con el fin de preservar la calidad de vida de estos ecosistemas y permitir su uso por parte de la población humana (Cressa, 1994; Del Arco *y col.*, 2012).

El monitoreo de la calidad de agua se realiza a través de bioindicadores, los cuales son organismos que sirven para evaluar variaciones en la calidad ambiental, a partir de la observación de sus respuestas biológicas frente a una perturbación. En este sentido, para poder determinar el nivel de contaminación de un ecosistema acuático debido a un contaminante, es necesaria la selección de una comunidad de organismos bioindicadora de la calidad del agua. Entre estos, los insectos acuáticos son frecuentemente utilizados, por su alta sensibilidad a los cambios ambientales, tamaño relativamente grande, facilidad de recolección, entre otras características (Prat *y col.*, 2009; Segnini *y col.*, 2009).

Dada la importancia que los insectos acuáticos tienen en estos ecosistemas, se hace necesario conocer su dinámica poblacional. Un aspecto importante en este tipo de estudio, consiste en la realización del inventario de los insectos que integran las comunidades de macroinvertebrados de los diferentes ríos del país, con especial énfasis en los Parques Nacionales, lo cual permitirá mantener un registro de los componentes de dicha comunidad, así como la cuantificación de los cambios que en ella se presenten. No obstante, la identificación de los macroinvertebrados se ve limitada por una serie de factores, entre los que destacan: reducido número de expertos, carencia de claves sobre insectos acuáticos tropicales y la falta de material referencial acerca de los insectos presentes en Venezuela. Además, la información disponible se encuentra dispersa y a veces en medios de difícil acceso.

Con la finalidad de resolver algunas de estas dificultades y apoyar a los profesionales en esta área, se aplicó la Ingeniería Ontológica (Barrera *y col.*, 2012; Gómez-Pérez *y col.*, 2004), para desarrollar una ontología de insectos acuáticos de Venezuela, específicamente del orden Plecoptera. La ontología

tiene como objetivos servir de repositorio¹ de los conceptos y relaciones del dominio y facilitar la reutilización y expansión de este conocimiento.

Insectos acuáticos como indicadores de la calidad de aguas en Venezuela. Los insectos son invertebrados de gran importancia en sistemas acuáticos y terrestres, tanto por su densidad y diversidad como por la variedad de funciones que realizan. Específicamente en los cuerpos de aguas corrientes tienen diferentes funciones entre las cuales destacan: (a) ser procesadores de la materia orgánica convirtiéndola en material con un mayor valor nutritivo, (b) ciclaje de nutrientes como resultado del procesamiento de materia orgánica, y (c) ser fuente de alimento tanto de vertebrados (principalmente peces) como de otros invertebrados. De esta forma, los macroinvertebrados son un eslabón imprescindible en el flujo de energía, a eslabones superiores, en los ecosistemas acuáticos.

En la actualidad, los macroinvertebrados acuáticos son los organismos más ampliamente utilizados en el biomonitoreo de aguas continentales (ríos y lagunas) impactadas por perturbación humana (Bonada y col., 2006), por sus características entre las que resaltan: (a) alta sensibilidad a los factores de perturbación, por lo cual responden a las sustancias contaminantes presentes tanto en el agua como en los sedimentos, (b) amplia distribución geográfica y en diferentes tipos de ambientes, (c) gran riqueza de especies con gran diversidad de respuestas a los gradientes ambientales, (d) son relativamente sedentarios y por lo tanto representativos del área donde son recolectados, lo que permite el análisis espacial de la contaminación, (e) ciclos de vida que reflejan con rapidez las alteraciones del medio ambiente, mediante cambios en la estructura de sus poblaciones y comunidades y (f) pueden ser muestreados de forma sencilla y a bajo costo (Reece y Richardson 1999, Segnini, 2003).

En particular, los insectos pertenecientes al Orden Plecoptera (Froehlich, 2009), también llamados moscas de las piedras (*stoneflies*), constituyen uno de los principales componentes de la fauna acuática de los ríos. La identificación de la mayoría de las especies neotropicales pertenecientes al Orden Plecoptera, se debe a los trabajos de Stark (1995; 1999) y Maldonado y col. (2002). Hasta el momento, sólo se han reportado tres géneros para Venezuela (*Anacroneuria*, *Enderleina* y *Macrogynoplax*), de los cuales el género *Anacroneuria* es, sin lugar a dudas, el más abundante y diverso, con 30 especies en total (Cressa y Stark, 2003; Domínguez y col., 2006).

En Venezuela, el Laboratorio de Ecología de Sistemas Acuáticos Continentales del Instituto de Biología Experimental (IBE) de la Universidad

¹Repositorio: depósito o archivo en un sitio centralizado donde se almacena y mantiene información digital, generalmente en bases de datos o archivos informáticos.

Central de Venezuela, se ha planteado entre sus objetivos conocer la composición de la comunidad béntica en ríos, aquellos ubicados en los parques nacionales con énfasis en tres Ordenes: Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera. Parte fundamental de esta actividad, es mantener un registro actualizado de las diferentes especies que integran la comunidad béntica. El conocimiento generado de estas investigaciones, permitirá clasificar a los cuerpos de agua de nuestro país en ecoregiones. Igualmente, se incrementará el conocimiento de los insectos acuáticos, tanto desde el punto de vista ecológico como taxonómico.

Sin embargo, los esfuerzos realizados por los miembros del Laboratorio en la identificación de especies se han visto limitados por una serie de factores, entre los que destacan: insuficiencia de literatura adecuada para su identificación, carencia de manuales de insectos acuáticos presentes en Venezuela, manejo de gran cantidad de información que se encuentra dispersa y a veces en medios de difícil acceso, complejidad del proceso de identificación el cual requiere experticia y reducido grupo de expertos.

En esta área, una ontología resultaría de gran utilidad ya que propone una estructura organizativa de los conceptos del dominio y de las relaciones entre éstos, que podría ser compartida y reutilizada entre los expertos en insectos acuáticos y la comunidad de ecólogos en general. Por otra parte, al estandarizar el vocabulario se minimizan las confusiones de nomenclatura, lo cual es de gran importancia en este dominio, ya que las características de un insecto deben ser referenciadas de manera única para garantizar identificaciones precisas y confiables. Además, constituiría un sistema de almacenamiento de la información y el conocimiento que se encuentran dispersos y en diversos formatos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ingeniería ontológica y desarrollo de ontologías

La ingeniería ontológica se refiere al conjunto de actividades relacionadas con el proceso de desarrollo de ontologías, así como a las metodologías, herramientas y lenguajes necesarios para su construcción (Gómez-Pérez *y col.*, 2004; Barrera *y col.*, 2012; Mizoguchi, 2003). La investigación en este campo se inició hace varias décadas y recientemente ha capturado una gran atención de las grandes comunidades de desarrolladores de software, debido al interés cada vez mayor en áreas como la biología, medicina, administración, negocios, entre otras.

Una ontología es una especificación explícita y formal de los conceptos de un dominio y las relaciones entre ellos (Gruber, 1993; Barrera *y col.*, 2012). Las ontologías almacenan conocimiento producido

por consenso por un grupo de expertos en un área particular, de un modo genérico, bien estructurado y formal, de manera que pueda ser compartido y reutilizado por distintos grupos de personas y sistemas informáticos. Además, una ontología puede funcionar como un marco para la unificación de diferentes puntos de vista y servir como base para la comunicación entre personas con diferentes necesidades.

Las ontologías se presentan como una buena solución para alcanzar interoperabilidad semántica, ya que permiten conceptualizar el conocimiento, generando formas comunes y compartidas de ver el mundo. Entre las ventajas proporcionadas por las ontologías destacan: reducción de la ambigüedad al disminuir las confusiones de significado, reutilización del conocimiento por aquellos grupos y aplicaciones que lo requieran en el mismo dominio que la ontología representa, extensión de ontologías desarrolladas y su reutilización en otras ontologías, entre otras.

Componentes de las ontologías. Una ontología es una herramienta conceptual que define un vocabulario común dentro de un determinado dominio, el cual incluye definiciones de los conceptos básicos, así como las relaciones entre estos (Noy y McGuinness, 2001). Las ontologías se caracterizan por definir un vocabulario común, que considera además la interpretación de los conceptos básicos de algún dominio específico y las relaciones entre ellos (Barrera y col., 2012).

Los componentes de una ontología varían de acuerdo al dominio de interés y a las necesidades de los desarrolladores. Por lo general, se encuentran los siguientes:

Clases: son la base de la descripción del conocimiento en las ontologías ya que describen los conceptos del dominio. Desde el punto de vista de la lógica, los objetos de una clase se pueden describir especificando las propiedades que deben satisfacer para pertenecer a ésta. Una clase puede ser dividida en subclases, las cuales representarán conceptos más específicos que la clase a la que pertenecen.

Relaciones: representan las interacciones entre los conceptos del dominio.

Instancias: son objetos, miembros de una clase, que no pueden ser divididos sin perder su estructura y características funcionales. Pueden ser agrupados en clases.

Propiedades: son las características o atributos que describen a los conceptos. Para un concepto dado, las propiedades y las restricciones sobre éstas son heredadas por las subclases y las instancias de la clase. Las especificaciones, rangos y restricciones sobre los valores de las propiedades se denominan *facets*.

Taxonomía: conjunto de conceptos organizados jerárquicamente. Las taxonomías definen las relaciones entre los conceptos pero no los atributos de éstos.

Axiomas: se usan para modelar sentencias que son siempre ciertas. Los axiomas permiten, junto con la herencia de conceptos, inferir conocimiento que no esté indicado explícitamente en la taxonomía de conceptos. Los axiomas se utilizan también para verificar la consistencia de la ontología

Métodos para la construcción de ontologías. Para el diseño y construcción de ontologías se han propuesto varios métodos que tienen por finalidad proporcionar un procedimiento comúnmente aceptado, validado y verificado, que garantice el logro de un producto exitoso (Guzmán *y col.*, 2012; Corcho *y col.*, 2003). A continuación, se describe brevemente la metodología *Methontology*, la cual tiene sus raíces en las actividades identificadas por el proceso de desarrollo de software propuesto por la organización IEEE.

Además de las actividades propias de la generación de ontologías, esta metodología abarca otras actividades relacionadas con la planificación del proyecto, la documentación, entre otras. *Methontology* (Gómez-Pérez *y col.*, 2004), permite la construcción de ontologías a nivel de conocimiento, incluyendo la identificación del proceso de desarrollo, un ciclo de vida basado en la evolución de prototipos y técnicas particulares para realizar cada actividad. La metodología proporciona guías sobre cómo llevar a cabo el desarrollo de la ontología a través de las siguientes actividades:

Especificación. Se realiza un documento donde debe indicarse el alcance, objetivos, propósito, nivel de formalidad y usuarios finales de la ontología a desarrollar.

Conceptualización. Consiste en organizar y convertir una percepción informal de un dominio en una especificación semi-formal usando un conjunto de representaciones intermedias (tablas, diagramas), que puedan ser entendidas por los expertos del dominio y los desarrolladores de ontologías.

Formalización. En esta actividad se realiza la transformación del modelo conceptual en un modelo formal o semi-computable.

Implementación. Se realiza la codificación de la ontología utilizando un lenguaje formal (Ontolingua, XOL, OIL, DAML, OWL, entre otros).

Mantenimiento. Esta actividad permite la actualización y corrección de la ontología.

Aplicaciones de las ontologías en Biología. La necesidad de estandarizar y representar conocimiento en el ámbito de la biología, ha propiciado el desarrollo y construcción de las denominadas bio-ontologías. Una bio-ontología es una representación formal de conocimiento biológico que define los términos fundamentales del área y los combina con reglas que permiten describir las relaciones entre ellos (Bard y Rhee, 2004). A continuación se describen algunas de las iniciativas en el desarrollo de bio-ontologías.

El Centro Nacional de Ontologías Biomédicas (*The National Center for Biomedical Ontology²-NCBO*), es un organismo cuyo principal objetivo es proporcionar a los investigadores biomédicos, aplicaciones en línea embebidas en un portal Web que les permitan acceder, revisar e integrar recursos ontológicos, para su utilización en investigación biomédica y en la práctica clínica. Destacan particularmente entre estas aplicaciones el Bio-Portal, a través del cual es posible acceder, navegar, compartir, enviar, comentar y explorar ontologías biomédicas; y el anotador NCBO que posibilita la anotación semántica de metadatos textuales (artículos de revista, congresos, etc.) a los conceptos de ontología.

El Sistema de Lenguaje Médico Unificado (*Unified Medical Language System³-UMLS*), desarrollado por la biblioteca Nacional de Medicina de los Estados Unidos, recopila vocabulario en las ciencias biomédicas. La finalidad del sistema es la de impulsar el desarrollo de aplicaciones computacionales para apoyar a los investigadores y profesionales del área de la salud en la recuperación e integración de información biomédica desde diferentes fuentes automatizadas. UMLS está constituido por un Metathesaurus (vocabulario), una red semántica (relaciones) y un SPECIALIST Lexicon (reglas del lenguaje).

La ontología de genes (*Gene Ontology⁴-GO*) unifica y describe el vocabulario de los términos relativos a los genes, así como las características de los productos génicos de los organismos. La ontología abarca tres dominios: componente celular (partes de la célula o de su entorno extracelular); función molecular (actividades elementales de un producto del gen a nivel molecular) y proceso biológico (conjuntos de eventos moleculares).

Una recopilación de trabajos que utilizan algoritmos de visión artificial y técnicas de clasificación inteligentes para reconocer e identificar insectos, se presenta en (Hassan y col., 2014). Destaca de manera particular entre los trabajos descritos, un sistema basado en ontologías para el reconocimiento de insectos a partir de imágenes. El sistema está constituido por cuatro elementos: una ontología de función visual, una ontología de imágenes de insectos, un módulo de clasificación y una bio-ontología que representa la taxonomía morfológica de los insectos. Los elementos mencionados interactúan entre sí hasta alcanzar la identificación de un espécimen.

Un sistema experto para identificar insectos, que además recomienda tratamientos para las plantas que éstos dañen, es propuesto por (Kaloudis y col., 2005). La base de conocimiento del sistema está conformada por

² <http://www.bioontology.org/>

³ <http://www.nlm.nih.gov/research/umls/>

⁴ <http://www.geneontology.org/>

dos bio-ontologías. En la primera de ellas se representa el conocimiento que permitirá identificar a los insectos a partir de sus características morfológicas; mientras que en la segunda, el conocimiento que se registra es el relativo con las características de los daños que causan los insectos a los bosques y los resultados que los insectos dejan en el bosque. El proceso de identificación se lleva a cabo a través de un conjunto de reglas que se instancian en las ontologías en cuestión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La ontología de insectos acuáticos del Orden Plecoptera

Tomando en cuenta los beneficios que conllevan las ontologías y la importancia de los insectos acuáticos como indicadores de la calidad del agua, se desarrolló una ontología para el Orden Plecoptera, con el objetivo de apoyar a los profesionales en esta área y solventar las dificultades antes expuestas. La selección del Orden Plecoptera se debió principalmente por: (a) este Orden está asociado con cuerpos de agua prístinos, lo cual los hace ideales para el monitoreo y (b) su taxonomía es relativamente fácil, pues no presenta un número tan elevado de especies como el registrado por otros grupos.

El conocimiento incluido en la ontología fue adquirido a través de la revisión de libros, manuales, guías y artículos de revistas, reuniones y entrevistas con los expertos (entomólogos) y salidas de campo. Completada esta fase, el conocimiento recopilado de las distintas fuentes se sometió a un proceso de revisión y validación con los expertos para así asegurar la exactitud de los términos. A continuación, se describen las actividades propuestas en la metodología *Methontology* las cuales fueron realizadas como parte del diseño y desarrollo de la ontología.

Especificación. El Documento de Especificación de Requerimiento desarrollado en esta actividad, indica el propósito, nivel de formalidad, escenarios, alcance, usuarios finales y recursos utilizados en el desarrollo de la ontología. Un aspecto a resaltar es el alcance de la ontología, el cual se especifica a través de una serie de preguntas de competencias que la base de conocimientos, basada en la ontología, debería ser capaz de responder. Estas preguntas servirán, además, como pruebas de control de calidad (Grüninger y Fox, 1995). La Tabla 1 muestra un extracto de este documento.

Conceptualización. A continuación, se describen las tareas de conceptualización de *Methontology* y los productos que fueron generados en el dominio de insectos acuáticos.

Tabla 1. Extracto del Documento de Especificación de Requerimientos de la Ontología.

Dominio	Insectos acuáticos. Especies del orden Plecóptera
Propósito	El desarrollo de una ontología para este dominio tiene como propósito centralizar y organizar la información relacionada al conocimiento experto del área, facilitar las investigaciones futuras, apoyar la identificación de especies de insectos acuáticos y reducir el tiempo empleado para ello. La construcción de la ontología permitirá: a) Obtener un repositorio de los conceptos y relaciones del dominio. b) Estandarizar el vocabulario para evitar confusiones de nomenclatura. c) Construir una guía rápida de referencia y consulta del conocimiento experto.
Alcance	<p>Preguntas de competencias</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Conociendo el tipo de metamorfosis ¿A qué orden pertenece el ejemplar? 2. Conociendo las características morfológicas de un ejemplar ¿Cuál es el género y la especie presente? 3. Conociendo la cantidad de ocelos ¿Cuál es el Género presente? 4. Conociendo la ubicación (Nombre del Río + Estado) ¿Cuál es la especie presente? 5. Si el género es Anacroneuria y se conoce la longitud del martillo ¿Puede identificarse una especie? 6. ¿Qué características deben chequearse en un insecto adulto? 7. ¿Qué características deben chequearse en una larva? 8. ¿Cuáles son los géneros pertenecientes al orden Plecóptera? 9. ¿Qué características deben chequearse para conocer los géneros pertenecientes al orden Plecóptera? 10. ¿Cuántos ocelos tienen las especies pertenecientes al género Anacroneuria? 11. Conociendo el color de las alas y la longitud del ala anterior ¿Cuáles son las especies que se identifican? 12. Conociendo el color de las alas y que la longitud del ala anterior < 13 mm ¿Cuáles son las especies que se identifican? 13. Conociendo la estructura del aparato genital ¿Cuáles son las especies que se identifican? 14. Conociendo el color de las alas, el tamaño y la forma del martillo ¿Cuáles son las especies que se identifican?
Usuarios	Se identifican dos tipos de usuarios: a) Expertos: Miembros pertenecientes al Laboratorio de Sistemas Acuáticos Continentales. b) Otros usuarios: Todas aquellas personas interesadas en consultar información relacionada al dominio.

Tarea 1: Construir el glosario de términos. El glosario de términos debe incluir la mayoría de los términos relevantes del dominio (conceptos, instancias, atributos, relaciones entre conceptos, etc.), sus descripciones en lenguaje natural, sus sinónimos y acrónimos. En la Tabla 2 se muestra un extracto de este glosario.

Tabla 2. Extracto del glosario de términos.

Nombre	Descripción	Tipo
Adulto	Del latín <i>adultus</i> , insecto totalmente desarrollado y sexualmente maduro. Estado de la vida en el cual el organismo adquiere la estructura definitiva que le corresponde específicamente.	Clase
<i>Anacroneuria</i>	Este género es el representante más importante de la Familia Perlidae en ríos Neotropicales.	Instancia
Ocelo	Órgano vital que sólo permite percibir intensidades de luz, es el ojo simple de los artrópodos. Cada ocelo consta de una córnea y una o varias células fotosensibles.	Atributo de clase

Tarea 2: Construir la taxonomía de conceptos. Cuando el glosario de términos tenga una cantidad importante de elementos, se debe construir una taxonomía que defina la jerarquía entre los conceptos. En la Figura 1 se observa la taxonomía de conceptos para la ontología desarrollada, elaborada a partir del glosario de términos y conjuntamente con los expertos del dominio.

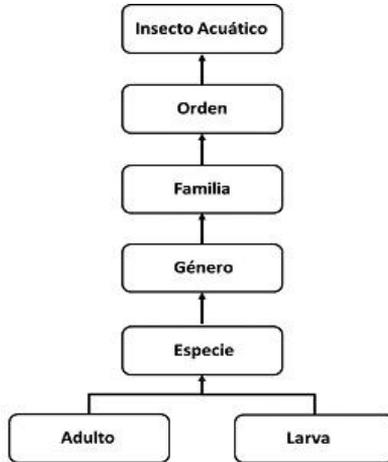


Figura 1. Taxonomía de conceptos de la ontología de insectos acuáticos.

Tarea 3: Construir un diagrama de relaciones binarias. El objetivo de este diagrama es establecer las relaciones entre los conceptos de una o más taxonomías de conceptos. En la Figura 2 se muestra un fragmento de éste, en el cual se presentan las relaciones *tiene* y *parte_de*, establecidas entre los conceptos Adulto, Alas, Tórax y Aparato genital.

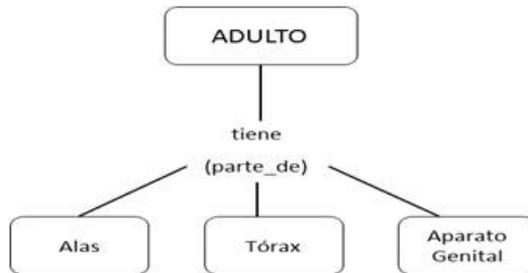


Figura 2. Diagrama de relaciones binarias entre los conceptos Adulto, Alas, Tórax y Aparato Genital.

Tarea 4: Construir el diccionario de conceptos. El diccionario de conceptos contiene los conceptos más importantes del dominio (según la opinión de los expertos), sus relaciones, instancias, atributos de clases y atributos de instancias. En la Tabla 3 se presenta una porción de este diccionario.

Tabla 3. Extracto del diccionario de conceptos.

Concepto	Instancias	Atributos de Clase	Relación	Concepto Destino	Relación Inversa
Orden	Plecoptera	Nombre	compuesto_por	Familia	<i>pertenece_a</i>
Familia	Perlidae	Nombre	compuesta_por	Género	<i>pertenece_a</i>
Género	<i>Anacroneuria</i> <i>Macrogynoplax</i> <i>Enderleina</i>	Nombre	compuesto_por	Especie	<i>pertenece_a</i>
Especie	<i>anacroneuria</i> <i>achagua</i>	Nombre Tipo Metamorfosis Ubicación	tipo_de	Adulto Larva	<i>tipo_de</i>

Tarea 5: Definir las relaciones binarias en detalle. Se crea la tabla de relaciones binarias, en la que se describe detalladamente todas las relaciones binarias incluidas en el diccionario de conceptos. Para cada relación binaria se debe especificar: nombre, conceptos fuente y destino, cardinalidad y relación inversa. Un fragmento de esta tabla, que muestra las relaciones *compuesto_por*, *formado_por* y *tiene*, se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Extracto de la tabla de relaciones binarias.

Nombre relación	Concepto fuente	Concepto destino	Card	Relación Inversa
compuesto_por	Género	Familia	1:n	<i>pertenece_a</i>
formado_por	Abdomen_Adulto	Segmentos_Abdominales	1:1	<i>forma_parte_de</i>
tiene	Tórax_Adulto	Alas	1:1	<i>son_parte_de</i>

Tarea 6: Definir los atributos de instancia en detalle. Se crea la tabla de atributos de instancias, con la que se describe detalladamente todos los atributos o características de las instancias incluidas en el diccionario de conceptos. Los atributos de instancias son aquellos que describen las instancias de un concepto, y sus valores pueden ser diferentes para cada instancia en particular. Esta tarea no aplicó para este dominio, ya que los atributos de las clases son los mismos que los de las instancias.

Tarea 7: Definir los atributos de clases en detalle. Se crea la tabla de atributos de clases en la que se describe detalladamente todos los atributos de clases incluidos en el diccionario de conceptos. Para cada atributo de clase, se debe especificar: nombre, concepto donde es definido, tipo de valor y valor. La Tabla 5 se presenta un extracto de esta información.

Tabla 5. Extracto de la atributos de clase.

Nombre	Concepto	Tipo valor	Valor
Ganchos	Especie	String	Delgados Gruesos En forma de corneta Redondeados
Procesos_Aedeagales	Especie	String	Inconspicuos en su aspecto ventral Muy delgados y conspicuos en su aspecto ventral
Ocelo	Clase	String	Dos Tres Anterior generalmente pequeño

Tarea 8: Definir las constantes en detalle. Se crea la tabla de constantes en la que se describe detalladamente cada una de las constantes definidas en el glosario de términos. Esta tarea no aplicó para este dominio.

Tarea 9: Definir los axiomas formales. Se deben identificar los axiomas formales necesarios en la ontología y describirlos con precisión en una tabla. Para cada definición de axioma formal se debe especificar: nombre, descripción, expresión lógica que formalmente lo describe (preferiblemente utilizando lógica de primer grado), los conceptos, atributos y relaciones binarias a los cuales el axioma hace referencia y las variables utilizadas. La Tabla 6 muestra algunos de estos axiomas.

Tabla 6. Algunos axiomas de la ontología.

Nombre	Descripción	Concepto	Relación
Un solo Orden	Un insecto puede pertenecer sólo a un Orden.	Insecto Acuático	
Pertenencia	Una Familia solo puede pertenecer a un Orden, un Género a una Familia y una Especie a un Género.	Orden Familia Género Especie	<i>Pertenece</i>

Tarea 10: Definir las reglas. Se deben identificar cuáles reglas son necesarias en la ontología y describirlas en una tabla de reglas. Para cada regla, se debe especificar: nombre, descripción, expresión que

formalmente la describe, los conceptos, los atributos y las relaciones a los que hace referencia y las variables usadas en la expresión. Para la especificación de las reglas se sugiere la forma: Si <condiciones> entonces <consecuencias o acciones>. En este contexto, las reglas apoyarán el proceso de identificación de especies de insectos acuáticos del orden Plecoptera. La descripción de este conocimiento fue realizada en un trabajo previo (Fernández *y col.*, 2006), en el cual se desarrolló un Sistema Experto⁵, que orienta a los usuarios en el proceso de identificación del género *Anacroneuria*, a partir de características morfológicas, tal como si se tratara de un experto en el área (Figura 7).

Tabla 7. Algunas reglas de clasificación de la ontología.

Nombre Regla	Descripción	Expresión	Conceptos
Clasificación <i>Anacroneuria bifasciata</i>	Permite determinar si el espécimen a identificar pertenece a la especie <i>Anacroneuria bifasciata</i>	SI Bandas_Alas= Color ámbar y marrón oscuro Y Pigmentos_Oscuros= Separados por bandas basales, media y apicales ENTONCES Especie= <i>Anacroneuria bifasciata</i>	Especie
Determinar Género <i>Anacroneuria</i>	Permite determinar si el espécimen a identificar pertenece al género <i>Anacroneuria</i>	SI Margen posteromesal S9 = Muy poco desarrollado Y color del cuerpo= Pálido a marrón oscuro Y Ocelos = 2 ENTONCES Género = <i>Anacroneuria</i>	Familia Género

Tarea 11: Definir las instancias. Una vez que el modelo conceptual de la ontología ha sido creado, se deben definir las instancias relevantes que aparecen en el diccionario de conceptos en una tabla de instancias. Para cada instancia se debe especificar: nombre, concepto al que pertenece y valores de los atributos. En la Tabla 8 se encuentran descritas algunas instancias del género *Anacroneuria*.

Tabla 8. Algunas de las instancias de la ontología.

Nombre	Concepto	Atributos	Valores
Arcuata	Especie	Color_Alas	Variable
		Longitud_Ala_Anterior	Mayor 13.5 mm.
		Longitud_Martillo	Igual a diámetro apical
		Ápice_Martillo	Circular y posee ganchos aedeagales con Ápices no similares a un pie
Cacute	Especie	Aspecto_dorsal-Aedeago	Tiene el lóbulo transversal arqueado
		Color_Alas	Variable
		Ápice_Aedeago	Multilobeado, no cuenta con los procesos en forma de corneta.
		Ganchos	Delgados
		Quilla_Dorsal_Aedeagal	En forma de V
		Ubicación	Quebrada Minanon. Edo Mérida

⁵ lia.ciens.ucv.ve/plecoptera/

Una vez finalizada esta actividad, el modelo conceptual que se obtuvo especifica los ocho órdenes de insectos acuáticos existentes en Venezuela y describe amplia y completamente al Orden Plecoptera y sus 30 especies. El modelo contabiliza en total 22 clases, 59 instancias y 57 atributos.

Formalización e implementación. El siguiente paso en el desarrollo de la ontología consistió en codificar el modelo generado en un lenguaje ontológico; para esto se seleccionó la herramienta de edición Protégé⁶, el cual es un editor de ontologías de código abierto, desarrollado por el grupo SMI (*Stanford Medical Informatics*) de la Universidad de Stanford. Esta herramienta permite a los usuarios compartir, navegar y editar sus ontologías utilizando un navegador Web estándar, lo que proporciona un ambiente de colaboración que puede ayudar a las comunidades en el desarrollo de ontologías.

Actividad de Mantenimiento. La actividad de mantenimiento, permite actualizar y corregir (evaluar) la ontología construida. La evaluación de las ontologías es similar a cualquier otro componente de software; el proceso consiste en la emisión de un juicio técnico del contenido con respecto a un marco de referencia (completitud de vocabulario, preguntas de competencia, entre otros), durante cada fase del ciclo de desarrollo (Gómez-Pérez *y col.*, 2004).

La evaluación de la ontología se realizó considerando algunas de las sugerencias dadas por (Ramos *y col.*, 2009; Tartir *y col.*, 2010; Senso *y col.*, 2011), como por ejemplo: que la estructura taxonómica usada para estructurar los conceptos y términos del dominio fuese completa, sin redundancias y consistente; el vocabulario utilizado para representar el conocimiento tuviera cobertura suficiente del corpus (conocimiento experto, textos y otras fuentes), entre otras consideraciones. Los aspectos más significativos de la evaluación realizada fueron los valores obtenidos para las medidas de calidad de recuperación de información, tales como precisión (medida que indica el porcentaje de los términos de la ontología que aparecen en el *corpus* con relación a la cantidad total de términos de la ontología), exhaustividad o *recall* (medida que indica el porcentaje de términos del corpus que aparecen en la ontología con relación al total de términos en el corpus) y f-score (media ponderada que combina los valores de precisión y exhaustividad); los cuales se muestran en la Tabla 9.

Los resultados obtenidos al evaluar la ontología de insectos, evidencian la calidad del conocimiento que ha sido representado. Es importante resaltar que también se logró la estandarización del vocabulario y la obtención de una estructura de los conceptos del dominio y de las relaciones entre éstos. De esta manera, la ontología se constituye en una estructura de almacenamiento de la información y el

⁶ <http://protege.stanford.edu/>

conocimiento que se encontraban dispersos y en diversos formatos, y que posibilitará la compartición y reutilización del conocimiento entre los expertos en insectos acuáticos y la comunidad de ecólogos en general.

Tabla 9. Resultados de las medidas de calidad de recuperación de información de la ontología de insectos acuáticos

Medida	Valor	Observación
Precisión	0,87	87% de los términos codificados en la ontología existen en la totalidad del corpus del dominio*
Exhaustividad (<i>recall</i>)	0,78	78% de los términos del <i>corpus</i> * existen en la ontología.
<i>f-score</i>	0,81	El balance entre la precisión y la exhaustividad es de 81%.

(- **Corpus** del dominio construido a partir de: **(a)** textos especializados (Merrit y Cummins (1996), Maldonado, Stark y Cressa (2002), Segnini y Bastardo, (1995), Stark (1995, 1999), entre otros), **(b)** consultas a vocabularios de bio-ontologías del dominio de insectos (*Ontología de Neoptera y Mecoptera*: <http://onki.fi/en/browser/downloadfile/verkkosiiipiset?o=http%3A%2F%2Fwww.yso.fi%2Ffonto%2Fverkkosiiipiset&f=verkkosiiipiset%2FTaxonMetaOntology.owl>; Ontología: *Insecta* - National Center for Biotechnology Information (NCBI) Organismal Classification] y **(c)** consultas a entomólogos.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Uno de los requerimientos más importantes de los miembros del Laboratorio de Ecología de Insectos Acuáticos Continentales, ha sido contar con herramientas que les permitan centralizar y organizar la información y el conocimiento de experticia que se genera durante el estudio de los macroinvertebrados del orden Plecoptera en Venezuela, a la vez de estandarizar la terminología y facilitar las investigaciones futuras. La ontología construida podrá apoyar en la satisfacción de estas necesidades, ya que constituye un repositorio estandarizado y consensado de los conceptos y relaciones de los insectos acuáticos.

Actualmente, se está construyendo una aplicación con orientación a la Web, la cual permitirá que las personas interesadas puedan acceder de manera sencilla y desde cualquier ubicación geográfica al conocimiento representado en la ontología, así como visualizar imágenes, descargar documentos y acceder a sitios de interés. De esta forma, la ontología podrá estar a disposición de los investigadores y usuarios que lo requieran, resultando una guía rápida de referencia, documentación y consulta para la investigación. Esta aplicación puede ser accedida partir del URL: www.plecoptera.com.ve, la pantalla de inicio y la que muestra la taxonomía codificada se muestran en las Figuras 3 y 4, respectivamente. Además, se está considerando extender la ontología a otros Órdenes.



Figura 3. Página Principal de la Aplicación Web.



Figura 4. Pantalla de la aplicación Web que muestra la taxonomía de conceptos.

LITERATURA CITADA

- Bard, J.B.L. y S. Rhee. 2004. Ontologies in biology: design, applications and future challenges. *Nature Reviews Genetics* 5:213-222.
- Barrera, M., H. Núñez y E. Ramos. 2012. *Ingeniería Ontológica*. Lecturas en Ciencias de la Computación. ND 2012-01. Escuela de Computación, Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela.
- Bonada, N., N. Prat, V.H. Resh y B. Statzner. 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. *Annual Review of Entomology* 51:495-523.
- Corcho, O., M. Fernández-López y A. Gómez-Pérez. 2003. *Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point?* Data y Knowledge Engineering. 46:41-64. Elsevier.
- Cressa, C. 1994. *Structural changes of the macroinvertebrate community in a tropical river*. Verhandlungen Der Internationalen Vereinigung Für Theoretische Und Angewandte Limnologie. 25:1853-1855. International Association of Theoretical y Applied Limnology.
- Cressa, C. y B.P. Stark. 2003. *Plecópteros*. En: *Biodiversidad en Venezuela*. Aguilera, M., A. Azocar y E. González (Eds.). Fundación Polar, Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT). Pp. 478-487.
- Del Arco, A.I., V. Ferreira y M.A.S. Graça. 2012. The performance of biological indicators in assessing the ecological state of streams with varying catchment urbanisation levels in Coimbra, Portugal. *Limnetica* 31:141-154.
- Domínguez, E., C. Molineri, M. Pescador, M. Hubbard y C. Nieto. 2006. *Ephemeroptera of South America*. Aquatic Biodiversity of Latin America (ABLA Series), No 2. Pensoft Publishers.
- Fernández, V., A. Rojas, E. Ramos, H. Núñez, M. Castro y C. Cressa. 2006. Método Commonkads para el desarrollo de un sistema experto en ambiente Web para la identificación de especies de insectos acuáticos. Actas 5ta Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática CISCI 2006. Florida, USA. 54-59.
- Froehlich, C.G. 2009. *Plecoptera*. En: *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos, Sistemática y Biología*. Domínguez, E. y H.R. Fernández (Eds.) Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina. Pp. 145-165.
- Gómez-Pérez, A., M. Fernández-López y O. Corcho. 2004. *Ontological Engineering: with examples from the areas of Knowledge Management, E-commerce and the Semantic Web*. Springer.
- Gruber, T. 1993. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition* 5(2):199-220.
- Grüninger, M. y M.S. Fox. 1995. Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies. Proceedings of the Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing. IJCAI'95. Montreal, Canada.
- Guzmán, J., M. López e I. Durley. 2012. Metodologías y métodos para la construcción de ontologías. *Scientia et Technica* XVII(50):133-140.
- Hassan, S., N. Rahman, Z. Htike y S. Lei Win. 2014. Advances in automatic insect classification. *Electrical and Electronics Engineering: An International Journal (ELELLJ)* 3(2):51-63.
- Kaloudis, S., D. Anastopoulos, C. Yialouris, N. Lorentzos y A. Sideridis. 2005. Insect identification expert system for forest protection. *Expert Systems with Applications* 28:445-452.
- Maldonado, V., B. Stark y C. Cressa. 2002. Descriptions and Records of *Anacroneuria* from Venezuela (Plecóptera: Perlidae). *Aquatic Insects*

- 24(3):219-236.
- Merrit, R. y Cummins, K. 1996. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Second Edition. Pp: 182-225.
- Mizoguchi, R. 2003. Tutorial on ontological engineering - Part 1: Introduction to Ontological Engineering. *New Generation Computing* 21(4):365-384.
- Noy, N. y D. McGuinness. 2001. *Ontology development 101: A Guide to creating your first ontology*. Technical Report KSL-01-05. Stanford knowledge Systems Laboratory, Stanford University.
- Prat, N., B. Ríos, R. Acosta y M. Rieradevall. 2009. *Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas*. En: *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y Biología*. Domínguez, E. y H.R. Fernández (Eds), Fundación Miguel Lillo. Pp. 631-654.
- Ramos, E., H. Núñez y R. Casañas. 2009. Esquema para evaluar ontologías únicas para un dominio de conocimiento. Enl@ce: Revista Venezolana de Información, Tecnología y Conocimiento 6(1):57-71. <http://dialnet.unirioja.es/>.
- Reece, P. y J.S. Richardson. 2000. *Biomonitoring with the reference condition approach for the detection of aquatic ecosystem at risk*. En: Proceedings of a conference on the biology and management of species and habitats at risk. L.M. Dearling (Ed.), Kamloops, B.B. 2:549-552.
- Segnini, S. y H. Bastardo. 1995. Cambios ontogenéticos en la dieta de la trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) en un río andino neotropical. *Biotropica* 4:495-508.
- Segnini, S. 2003. El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotrópicos* 16(2):45-63.
- Segnini, S., I. Correa y M. Chacón. 2009. Evaluación de la calidad del agua de ríos en los andes venezolanos usando el índice biótico *BMWP*. En: Enfoques y temáticas en Entomología, Arrivillaga, J.C., M. El Souki, Y.B. Herrera (Eds.), Primera Edición, Sociedad Venezolana de Entomología. Pp. 217-254.
- Senso, J., A. Leiva-Mederos y S. Domínguez-Velasco. 2011. Modelo para la evaluación de ontologías. Aplicación en Onto-Satcol. *Revista Española de Documentación Científica* 34(3):334-356.
- Stark, B.P. 1995. New species and records of *Anacroneuria* (Klapalek) from Venezuela. *Spixiana* 18:211-249.
- Stark, B.P. 1999. *Anacroneuria* from northeastern South America (Insecta: Plecoptera: Perlidae). *Proceeding of the Biological Society of Washington* 112:70-93.
- Tartir, S., B. Arpinar y A. Sheth. 2010. Ontological evaluation and validation. En: *Theory and Applications of Ontology (TAO), Computer Applications. Volume II: Ontology: The Information*. Poli, R., M. Healy y A. Kameas (Eds.), Science Stance. Springer Science+Bussines Media. Cap. 5. Pp. 115-130.