

Método para la generación de ontologías a partir de mapas conceptuales en dominios poco profundos

Alfredo Simón, Alejandro Rosete
Centro de Estudios de Ingeniería y Sistemas
Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”
Cuba
{asimon, rosete}@ceis.cujae.edu.cu

Luigi Ceccaroni
Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos
Universidad Politécnica de Cataluña
08034 Barcelona
España
luigi@lsi.upc.edu

Resumen

Se presenta una propuesta de integración entre un modelo conceptual gráfico, como es el caso de los mapas conceptuales, y ontologías codificadas en el lenguaje OWL. Los mapas conceptuales son una forma flexible de representación del conocimiento, muy útil para el hombre en entornos de colaboración; OWL es un lenguaje de representación del conocimiento orientado al análisis semántico automatizado. La integración se realiza a partir de un conjunto de formalizaciones incorporadas a los mapas conceptuales y el análisis semántico de las relaciones entre los conceptos. El método propuesto se apoya en un algoritmo de desambiguación de conceptos, definido por los autores, y en la base de datos léxica WordNet.

1. Introducción

En la representación del conocimiento orientada al análisis semántico por parte de máquinas (un contexto en el que se necesita cierto grado de formalización) se está viendo cada vez más en ascenso el desarrollo y utilización de las ontologías. Los procesos de diseño y creación de ontologías, así como las herramientas disponibles para este propósito, como Protégé [13] y los lenguajes de especificación de estas, muestran aún complejidad para personas no expertas en el tema. Aspectos que representan dificultades para aquellos entornos en lo que se requiera de la colaboración del hombre en el desarrollo de ontologías y su generalización.

Lo anterior sugiere la utilización de una forma de representación que pueda ser utilizada con naturalidad por el hombre y a su vez pueda ser integrada con las ontologías, de tal forma que

estas últimas puedan ser obtenidas automáticamente. Se propone aquí la utilización de los *mapas conceptuales (MC)*. Los MC son una herramienta definida para el aprendizaje, de fácil construcción, flexible e intuitiva para las personas. Teniendo en cuenta estos aspectos y a pesar de su bajo nivel de formalización, se ha logrado una integración entre los MC y las ontologías, específicamente con aquellas codificadas en OWL (siglas del inglés *Web Ontology Language*). OWL es un lenguaje de marcado formal para publicar y compartir conocimiento en Internet usando ontologías.

La integración entre MC y OWL se logra a partir de un conjunto de formalizaciones a incorporar en los primeros y el análisis de la semántica inherente a las relaciones entre los conceptos, permitiendo con ello la posterior codificación en OWL. El método propuesto se apoya en un procedimiento de eliminación de ambigüedades existentes en los conceptos, definido por los autores, así como en la herramienta WordNet [6]. Este es aplicable principalmente a dominios poco profundos, teniendo en cuenta que el conocimiento en WordNet pertenece fundamentalmente a un dominio general. Ha sido tratado también por los autores el proceso de obtención del MC a partir de una ontología OWL [14], pero se ha decidido no abordarlo en este trabajo, ya que existen algunas soluciones a este problema [9] y además es un proceso menos complejo que la codificación en OWL de un MC.

1.1. Los mapas conceptuales

Los MC son una forma de representación del conocimiento concebida en el contexto de las ciencias pedagógicas a finales de la década del 70.

Fueron propuestos por Novak [11], el que los define como *una técnica que representa, simultáneamente, una estrategia de aprendizaje, un método para captar lo más significativo de un tema y un recurso esquemático para representar un conjunto de significados conceptuales incluidos en una estructura de proposiciones*. Están compuestos por: nodos asociados a conceptos, relacionados mediante enlaces etiquetados por una *palabra-enlace*, definiendo el tipo de relación que se establece entre ellos y *proposiciones* formadas por dos o más *nodos-conceptos* relacionados por una *palabra-enlace*. Estos elementos son distribuidos gráficamente y siempre está presente un *nodo-concepto* como el más inclusivo (*concepto-principal*). Los MC son un tipo de *red semántica* [12] flexible y orientada a ser usada e interpretada por personas.

1.2. Las ontologías y sus lenguajes

En la inteligencia artificial, las ontologías fueron definidas para compartir y reutilizar conocimiento. Aportan un lenguaje de comunicación necesario en entornos distribuidos, como puede ser el entorno de agentes software y la Web semántica, y una descripción semánticamente formal para el procesamiento automático del conocimiento. La definición de ontología más comúnmente citada es la de Gruber [8], que las define como *una especificación formal y explícita de una conceptualización compartida*. En sentido general, una ontología es la base del procesamiento semántico; e incluye una red de conceptos, relaciones y axiomas para representar, organizar y entender un dominio de conocimiento y proporciona el marco de referencia común para todas las aplicaciones en cierto entorno.

La representación del conocimiento de las ontologías se basa en los sistemas de *marcos* [17] y se formaliza a través de diferentes lenguajes; ejemplo de ellos son DAML+OIL [4] y OWL [14]. Este último se basa en los lenguajes XML, RDF (siglas del inglés de *Resource Description Framework*) y RDF-S y es el más actualizado estándar de codificación de ontologías. OWL incluye tres especificaciones, con diferentes niveles de expresividad: OWL Lite, OWL DL y OWL Full [14]. El procedimiento propuesto en este trabajo está relacionado con el lenguaje OWL

Lite, obviando algunos elementos que pueden ser expresados en esta especificación de OWL (por ejemplo, las restricciones de cardinalidad de las propiedades) e incorporando algunos elementos de OWL DL (como la unión entre clases y la restricción de la propiedad *hasValue*).

2. Integración entre mapas conceptuales y ontologías

Existe una gran similitud entre MC y ontologías; especialmente las codificadas en RDF, ya que el lenguaje RDF está formalizado mediante *triples* (*sujeto, predicado, objeto*) y los MC usan la estructura de *proposiciones* (*concepto, palabra-enlace, concepto*). Si se tiene en cuenta que el lenguaje OWL es una extensión del lenguaje RDF, se puede plantear la integración entre MC y ontologías codificadas en OWL. Sin embargo, el conocimiento en OWL es expresado mediante *clases, subclases, propiedades* y sus valores, *instancias*, y *axiomas* [14], y en los MC no existe esta especificación, por lo que hay que inferirla.

En investigaciones anteriores de los autores se concluyó que se podía establecer una correspondencia directa entre MC y ontologías codificadas en OWL [15]. Esto proviene del análisis de que los sistemas de *marcos* son una extensión de las redes semánticas (RSs) [10] y que existe una correlación estructural entre ambas representaciones: entre un *marco* y un *nodo*, y entre *slots* y *relaciones*. Esto ayuda a explicar también la integración entre MC y ontologías codificadas en OWL, ya que la estructura de OWL se basa en marcos y que los MC son un tipo de RS.

Se siguieron dos criterios fundamentales para la interpretación semántica requerida para la codificación en OWL del conocimiento en el MC:

1. Incrementar el nivel de formalización de las palabras de enlace (p-e) en el MC (basado en las experiencias en RSs). Se definieron cinco categorías, según la semántica requerida para la codificación que se combinan con diferentes sintaxis formuladas en las *proposiciones*. Las p-e *es_un* e *instancia_de*, muy usadas en las RSs, han sido incluidas indirectamente a través de sus inversas.

Categorías	Palabras de enlace	Relación semántica
Subclasificación (CSC)	es_un ⁻¹ , tiene_por_subclase, tiene_parte_a, tiene_dependencia, incluye, agrupa, se compone de, comprende a, puede ser	Hiperonimia/hiponimia
Instanciación (CI)	tiene_por_instancia, tiene_instancia_a, instancia_como, tiene_ejemplo, instancia_de ⁻¹	Hiperonimia/hiponimia
Propiedad (CP)	tiene, posee, tiene_propiedad, toma_valor, tiene_valor, se compone de	Meronomia/holonimia
Propiedad-Valor-directa (CPVD)	Sustantivos, como: tipo, pared, rueda.	-----
Propiedad-Valor-indirecta (CPVI)	Formas verbales, por ejemplo derivadas de: contener (contenido), ejercer (ejerce), representar (representa).	-----

Tabla 1. Categorías de palabras de enlace y su correspondencia con los tipos de relaciones presentes en WordNet

Las *p-e* que se muestra en la *Tabla 1* no son las únicas que pueden ser usadas, la selección realizada es solo para la demostración de este procedimiento. Estas *p-e* pueden ser enriquecidas a partir de los diferentes contextos en los que sea utilizado este método.

- Analizar el MC como un texto estructurado, asumiendo que cada *proposición* es una frase en lenguaje natural. La *proposición* es una unidad semántica más pequeña del MC y que tiene un sentido [11]. Para esto se utiliza el algoritmo de desambiguación, para identificar el sentido (en términos de *synset*) correcto de cada concepto descrito en [15]. Con los *synset* identificados de dos *conceptos* se infiere cual es el comportamiento semántico del tipo de relación establecido entre estos en WordNet, independientemente de la *p-e* que se utilice en el MC.

Las relaciones de *hiperonimia*, manifiestan semánticamente la inclusión entre unidades léxicas, que va de lo más general a lo más específico (subclasificación) y la de *hiponimia* sería lo opuesto a esto. Las relaciones de *meronimia* manifiestan semánticamente relaciones de “parte de”, “es miembro de” (propiedad) y las de *holonimia* lo opuesto. En WordNet existen

varios tipos de relaciones, pero solo han sido consideradas aquí: *hiperonimia-hiponimia*, *meronimia-holonimia* [6].

3. Obtención de ontologías codificadas en OWL

En la explicación del proceso de obtención de ontologías codificadas en OWL serán utilizados los dos ejemplos de MC que se muestran en las *Figuras 1 y 2* y consta de cinco fases:

Fase 1. Desambiguación de conceptos. Aquí se realiza el proceso de identificación de los *synsets* en WordNet de los conceptos del MC, utilizando un método de desambiguación definido por los autores y que se describe en [15]. Los *synsets* identificados son usados en las fases posteriores, para identificar la semántica de las relaciones entre los conceptos a partir de la relación léxica que se establece entre sus *synsets* en WordNet. Se recurre a esto cuando la semántica no puede ser inferida de la *p-e* que se está usando en la relación. Esta fase termina con la creación de una lista *LP* que incluye todas las proposiciones que conforman el MC, en la que cada concepto es acompañado de su *synset*.

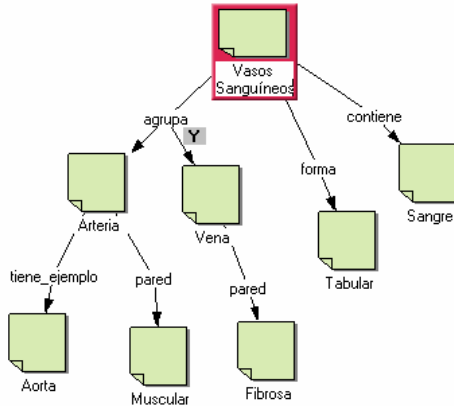
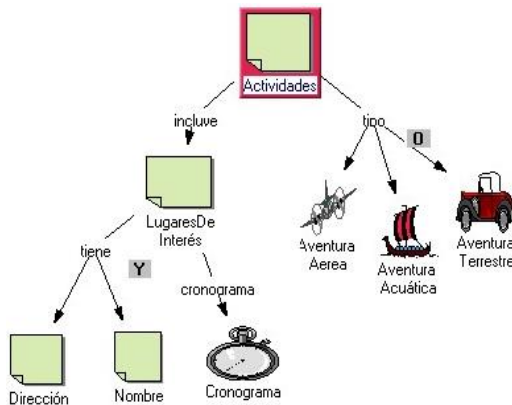


Figura 1. Mapa conceptual de un dominio general

Figura 2. Mapa conceptual de *Actividades* creado en el marco del proyecto @LIS TechNET [3]

Fase 2. Especificación de clases OWL. Todos los *conceptos* son expresados como *clases* (*owl:Class*). Tomando como ejemplo conceptos de la Figura 2, la codificación sería:

```

<owl:Class rdf:ID = "Actividades" />
<owl:Class rdf:ID = "Dirección" />
<owl:Class rdf:ID = "Nombre" />
...

```

Fase 3. Especificación de subclasificaciones. Para cada proposición $p \in LP$ con sintaxis $(c_1, p-e, c_2)$:

1. Si $p-e \in CSC$, c_1 es codificado en OWL como clase y c_2 como subclase de este. Aplicado esto en la Figura 1:

```

<owl:Class rdf:ID = "Vena" >
  <rdfs:subClassOf rdf:resource =
    "Vasos Sanguíneos" />
...
<owl:Class/>

```

2. Si $p-e \notin CSC$, se consulta WordNet, en busca de la semántica de dicha relación. Sea s_1 y s_2 *synset* de c_1 y c_2 respectivamente, y $a(s_i, s_j)$ un camino entre s_i y s_j :

Si $\exists a(s_2, s_1)$ formado a partir de relaciones de *hiperonimia* o $\exists a(s_1, s_2)$ formado a partir de relaciones de *hiponimia*, se infiere que c_2 es una *subclase* de c_1 . Aplicando esto a la proposición (*Vasos Sanguíneos, agrupa, Arteria*) de la Figura 1, se encuentra un camino por *hiponimia* entre los *synset* correspondiente a "Arteria" y "Vaso Sanguíneo", por lo que se puede determinar que "Arteria" es una subclase de "Vaso Sanguíneo", codificándose del mismo modo mostrado en el punto anterior.

Se puede dar el caso, como en la Figura 1, donde la proposición a partir de la cual se identifica la relación de subclasificación no sea binaria y la $p-e$ utilizada está acompañada de una "Y". Esta topología del MC es aprovechada para una mayor especificación en OWL de la clase padre.

```

<owl:Class rdf:ID="Vasos Sanguíneos">
  <owl:unionOf
    rdf:parseType="Collection">
    <owl:Class rdf:about="Arteria" />
    <owl:Class rdf:about="Vena" />
  </owl:unionOf>
</owl:Class>

```

Fase 4. Especificación de instancias. Para cada proposición $p \in LP$ con sintaxis $(c_1, p-e, c_2)$. Si $p-e \in CI$ y c_2 es hoja, se infiere que c_2 es una *instancia* de c_1 . Aplicado a la proposición (*Arteria, tiene_ejemplo, Aorta*) en la Figura 1:

```

<Arteria rdf:ID = "Aorta" />

```

Fase 5. Especificación de propiedad. Este es el proceso más complejo y de mayor

incertidumbre dentro de la codificación, por la diversidad de casos a tener en cuenta en la identificación de las propiedades en el MC y su especificación en OWL. Dado la proposición $p \in LP$, con sintaxis $(c_1, p-e, c_2)$:

1. Si $p-e \in CP$, se analiza como una sintaxis (clase, $p-e$, propiedad) y se infiere que c_2 es una propiedad de c_1 y que toma valor en el mismo rango de c_2 . Aplicado esto a la proposición (*LugaresDeInterés*, *tiene*, *Nombre*) de la Figura 2 se codifica:

```
<owl:ObjectProperty rdf:about =
  "#nombre">
  <rdf:type rdf:resource="&owl;
    FunctionalProperty"/>
  <rdfs:domain rdf:resource=
    "#LugaresDeInterés" />
  <rdfs:range rdf:resource=
    "#Nombre" />
</owl:ObjectProperty>
```

Nótese la creación de la nueva propiedad *nombre*. Esto podría ser aplicado también a la proposición (*LugaresDeInterés*, *tiene*, *Dirección*) de la Figura 2.

2. Si $p-e \in CPVD$, se analiza como una sintaxis (clase, propiedad, valor) y se infiere que $p-e$ es una propiedad de c_1 y c_2 define el rango de valor que puede tomar dicha propiedad. Aplicado esto a la proposición (*LugaresDeInterés*, *cronograma*, *Cronograma*) de la Figura 2:

```
<owl:ObjectProperty rdf:about =
  "#cronograma">
  <rdf:type rdf:resource="&owl;
    FunctionalProperty"/>
  <rdfs:domain rdf:resource=
    "#LugaresDeInterés" />
  <rdfs:range rdf:resource=
    "#Cronograma" />
</owl:ObjectProperty>
```

En caso de que $p-e \notin CPVD$, utilizando la herramienta FreeLing [1] se puede identificar si $p-e$ es un sustantivo. Si el resultado es positivo se procede de la misma manera que si fuera $p-e \in CPVD$.

En caso de que se utilice esta misma $p-e$ en otras proposiciones, como sucede en la Figura 1

con *pared*, la codificación sería como la hace Protégé, usando las etiquetas `<owl:unionOf...>` y `<owl:unionOf rdf:parseType="Collection">`.

```
<owl:ObjectProperty rdf:ID = "Pared" >
  <rdfs:domain>
    <owl:Class>
      <owl:unionOf rdf:parseType=
        "Collection" />
        <owl:Class rdf:about=
          "#Arteria" />
        <owl:Class
          rdf:about="#Vena" />
      </owl:unionOf>
    </owl:Class>
  </rdfs:domain>
  <rdfs:range>
    <owl:Class>
      <owl:unionOf rdf:parseType=
        "Collection"/>
        <owl:Class rdf:about=
          "#Muscular"/>
        <owl:Class rdf:about =
          "#Fibrosa"/>
      </owl:unionOf>
    </owl:Class>
  </rdfs:range>
</owl:ObjectProperty>
```

En caso de que la proposición donde está presente esa $p-e$ no se sea binaria, es decir que se esté utilizando el mismo *concepto-origen* con más de un *concepto-destino*, como se puede apreciar en la Figura 2, se infiere que la propiedad identificada por $p-e$, puede tomar valor en varios de varios de los rangos identificados por los *conceptos-destinos*. Aplicando esto al mismo ejemplo de Figura 2, la codificación sería:

```
<owl:Class rdf:ID = "Actividades">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource =
        "#tipo">
        <owl:someValueFrom rdf:resource =
          "#Aventura_Aerea" />
        <owl:someValueFrom rdf:resource =
          "#Aventura_Terrestre" />
        <owl:someValueFrom rdf:resource =
          "#Aventura_Acuática" />
      </owl:Restriction>
    </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
```

3. Si $p-e \in CPVI$, se analiza como una sintaxis (clase, propiedad indirecta, valor) y se infiere

que c_2 es el valor de la propiedad de c_1 derivada de $p-e$. Aplicando esto a la proposición (*Vasos Sanguíneos, contiene, Sangre*) de la Figura 1 la codificación sería:

```
<owl:ObjectProperty rdf:ID =
"contenido">
  <rdfs:domain rdf:resource =
"#Vasos Sanguíneos" />
  <rdfs:range rdf:resource =
"#Sangre" />
</owl:ObjectProperty>
```

4. Si $p-e \notin \{CP, CPVD, CPVI\}$ y no es un sustantivo se consulta WordNet. Sea s_1 y s_2 los *synset* de c_1 y c_2 respectivamente:

Si s_2 tiene como *homónimo* a s_1 ó s_1 tiene como *merónimo* a s_2 , se infiere que c_2 es una propiedad de c_1 . En este caso se asumiría lo descrito en el punto 1.

4. Implementación

En la implementación, el proceso de codificación parte de tener un MC expresado en lenguaje XML, con un formato propio generado por la herramienta MACOSFT para la elaboración de MC [16]. Después de obtenerse *LP* como resultado de la *Fase 1*, se inicia el proceso de creación del archivo OWL en el que inicialmente cada uno de los conceptos del MC es expresado como clase (*Fase 2*). Sucesivamente, este archivo se va modificando, incorporando más especificación. Por ejemplo: al código de una clase se le incorporaría la especificaciones de la clase a la que pertenece (*Fase 3*), un concepto que inicialmente es codificado como clase podría pasar a ser codificado como una instancia (*Fase 4*) o como una propiedad (*Fase 5*). Para las pruebas de la herramienta resultante se ha utilizado un WordNet en español desarrollado por el Grupo de Procesamiento de Lenguaje Natural del Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos (LSI) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) [5].

5. Trabajos relacionados

En [7] se ha incluido un mecanismo de transformación de un MC en OWL, que parte de un MC codificado en XTM, estándar de

especificación de los *topic maps* [2], y sobre esta codificación son aplicadas un conjunto de reglas para la obtención del OWL. En el XTM los conceptos y $p-e$ son expresados con la etiqueta *topic* y las relaciones entre ellos con la etiqueta *association*, especificando el *concepto-origen* y *concepto-destino* de la proposición. Para la codificación en OWL del XTM todos los *topic* asociados a los conceptos son codificados como *owl:class*, los asociados a las $p-e$ como *owl:ObjectProperty* y las etiquetas *association* son codificadas como relaciones de subclasificación (*rdfs:subClassOf*) entre las clases asociadas a los conceptos que intervienen en dicha asociación. A diferencia de la propuesta que se presenta aquí, en el trabajo analizado no se han tenido en cuenta la semántica inherente a las relación entre los conceptos en un MC, al menos no en todo su alcance, ya que no todas las etiquetas *association* en XTM siempre indican una relación de subclasificación, lo mismo sucede si son interpretadas todas las $p-e$ como propiedades. Esto es provocado porque se ha hecho una vinculación sintáctica directa entre XTM y OWL y no se ha tenido en que el XTM es un lenguaje carente de semántica, por lo que esta tiene que ser inferida a partir del contenido que en el se representa.

Otro trabajo analizado es el de Hayes y un grupo de colegas, en el que se expone un entorno de desarrollo colaborativo de ontologías basado en MC [9]. Aquí se dice que se implementa la transformación del MC a ontologías codificadas en OWL y viceversa, pero solo describe con gran amplitud el proceso de obtención del MC a partir de ontologías codificadas en OWL. Esto impide tener los elementos suficientes para poder hacer una exhaustiva comparación entre lo que se describe en [9] y esta nueva propuesta que se describe en el presente artículo. Sin embargo, es muy interesante e importante a tener en cuenta las formalizaciones sintácticas que son incorporadas a la estructura del MC en la propuesta de Hayes y sus colegas [9]. Este elemento se manifiesta como fundamental en el propósito de la interpretación semántica para la codificación en OWL. Algunas de las etiquetas a incorporar en las $p-e$ son: *atLeast*, *atMost*, *must_be* (estos primeros utilizados para definir restricciones en cuanto al valor de las propiedades) *Things which*, *ObjectProperty* (para indicar propiedad), *is_a*

(para indicar instancia), *are* (para indicar subclase), entre otros. La nueva propuesta que se describe en este trabajo también tiene en cuenta esta misma estrategia, pero en menor medida, ya que la formalización es combinada con un análisis del lenguaje natural que es representado en el MC, permitiendo con esto que no pierda la flexibilidad que lo ha caracterizado.

6. Conclusiones y trabajo futuro

Se obtuvieron las siguientes conclusiones en la investigación: (1) se mostró que existe una estrecha relación entre los mapas conceptuales y las ontologías; (2) la interpretación del mapa conceptual como un texto estructurado permite la inferencia semántica requerida para su codificación en OWL, logrando en el menor grado posible la pérdida de flexibilidad y naturalidad que lo caracteriza; (3) los procedimientos definidos garantizan una estrecha integración de mapas conceptuales con las ontologías codificadas en OWL en dominios de conocimiento poco profundos. La integración propuesta crea las bases para una mayor generalización y desarrollo colaborativo de ontologías.

El trabajo descrito muestra los resultados de una investigación que aún se encuentra en etapas tempranas. Independientemente de esto, los resultados de las pruebas realizadas con alrededor de 20 MC son positivos. Uno de los principales problemas que afectan estos resultados es la cantidad de conocimiento almacenado en la versión de WordNet con que se hicieron las pruebas que en algunos casos es insuficiente, derivando en que alguna *p-e* no se encuentre. Esto también afecta el proceso de desambiguación de los *conceptos*. Esta es la razón principal por la que se plantea que esta propuesta está dirigida fundamentalmente a dominios de conocimiento poco profundos. Para darle solución esto se trabaja en un mecanismo de aprendizaje automático para el enriquecimiento de la base de *p-e* en las categorías, que aprenda del mismo proceso de inferencia semántica que se lleva a cabo con WordNet y en el uso de otras bases de conocimiento y ontologías.

También se trabaja en la extracción de mayor conocimiento del MC que pueda ser especificado

en OWL, tal es el caso de características de propiedades como *TransitiveProperty* y *SymmetricProperty*, y axiomas de clases como *owl:equivalentClass* y *owl:disjointWith*.

Referencias

- [1] Atserias, J., Casas, B., Comelles, E., González, M., Padró, L., Padró, M. FreeLing 1.3: Syntactic and semantic services in an open-source NLP library. 5th International Conference on Language Resources and Evaluation, ELRA. Genoa, Italy, 2006.
- [2] Biezunski, M., Newcomb, S., Bryan, M.: Guide to the topic map standards. ISO/IEC 13250 Project, 2002.
- [3] Ceccaroni, L., Willmott, S., Cortés García, U. y Barbera-Medina, W. @LIS TechNET: Hacia la enseñanza práctica de las tecnologías de Internet de la próxima generación. 5^{ta} Conferencia Internacional de la Educación y la Formación basada en las Tecnologías. Madrid, España, p. 139-142, 2005.
- [4] DARPA.: DAML+OIL ontology Markup Language. Defence Advanced Research Projects Agency, 2001.
- [5] Farreres X., Rigau G. y Rodríguez H. Using WordNet for Building WordNets. Proceedings of COLING-ACL Workshop. Montreal, Canada, 1998.
- [6] Fellbaum, Ch.: WordNet: An Electronic Lexical Database, The MIT Press, University of Cambridge, 1998.
- [7] Gómez, H., Díaz B. y González, A.: Two layered approach to knowledge representation using conceptual maps description logic. 1st International Conference on Concept Mapping. España, 2004.
- [8] Gruber, T.: Toward Principles for the Design of Ontologies used for Knowledge Sharing. Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge representation. Kluwer Academic Publishers, 1993.
- [9] Hayes, P., Eskringde, T., Reichherzer, T., Saavedra, R.: A Framework for Constructing Web Ontologies using concept Maps. Proc. DALM Meeting, 2004.
- [10] Minsky, M.: A Framework for Representing Knowledge. The Psychology of Computer Vision, McGraw-Hill, p. 211-277, 1975.

- [11] Novak J. D. y Gowin, D. B.: Learning how to learn, Cambridge Press. New York, 1984.
- [12] Quillian, R.: Semantic memory, Semantic information processing, M. Minsky (Ed.), Cambridge, MIT Press, p. 227–270, 1968.
- [13] The Protégé Project, University of Stanford. Noy, N. F., Fergerson, R. W. y Musen, M. A.: The knowledge model of protege-2000: Combining interoperability and flexibility. In Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management (EKAW'2000), Juan-les-Pins, France, 2000.
- [14] Smith, M., Welty, Ch., McGuinness, D.: OWL Web Ontology Language Guide. W3C. 2004.
- [15] Simón, A., Ceccaroni, L., Willmott, S., Rosete, A.: Unificación de la representación de conocimiento en mapas conceptuales y ontologías para dominios poco profundos. XI Taller Internacional de Software Educativo. Universidad de Chile. Chile, p. 72-79, 2006.
- [16] Simón, A., Estrada, V., Rosete, A., Lara, V.: GECOSOFT: Un Entorno Colaborativo para la Gestión del Conocimiento con Mapas Conceptuales". 2nd International Conference on Concept Mapping. Costa Rica. Vol. 2 p. 114-118, 2006.
- [17] Lassila, O. y McGuinness, D. The Role of Frame-Based Representation on the Semantic Web, 2001.