

## EVOLUCIÓN DE LOS LENGUAJES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA WEB SEMÁNTICA

### RESUMEN

Se realiza una revisión de la literatura en el tema de lenguajes para la construcción de ontologías, presentando el modelo de conocimiento que subyace en cada lenguaje. El propósito es presentar la línea conductora en el proceso de estandarización de los lenguajes utilizados en la construcción de la Web Semántica.

**PALABRAS CLAVES:** Ontologías, Representación del conocimiento, Web Semántica.

### ABSTRACT

*A revision of Literature is made in the subject of languages for the ontology's construction, displaying the knowledge model that sublies in each language. The intention is to present the conductive line in the standardization process of the languages used in the construction of the Semantic Web.*

**KEYWORDS:** Ontologies, Knowledge Representation, Semantic Web.

### NESTOR DARIO DUQUE MENDEZ

Magíster en Ingeniería de sistemas  
Profesor Asociado  
Universidad Nacional de Colombia  
Sede Manizales  
ndduqueme@unal.edu.co

### JULIO CESAR CHAVARRO PORRAS

Ph.D(c) en Ingeniería. Área de énfasis: Ciencias de la computación  
Profesor Asistente  
Universidad Tecnológica de Pereira  
jchavar@utp.edu.co

### RICARDO MORENO LAVERDE

Magíster en Administración  
Económica y Financiera  
Profesor Asistente  
Universidad Tecnológica de Pereira  
rmoreno@utp.edu.co

## 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la actual Web, ha sobrepasado las previsiones más optimistas y, su tendencia exponencial de crecimiento, nos coloca ante una enorme cantidad de datos; allí anidan problemas bien conocidos, por ejemplo: dificultad para realizar consultas semánticas, elevados costos de mantenimiento de los sitios Web, contenidos dependientes del lenguaje, alta dependencia del factor humano para depurar la información buscada.

En este contexto, surge la necesidad de construir una Web Semántica (WS) concebida como “una extensión de la actual (Web), en la cual la información está dada por significados bien definidos, mejorando la relación entre computadores y humanos para su trabajo cooperativo” [24], que debe permitir que sea usada para un “descubrimiento más efectivo, automatización, integración y reutilización entre varias aplicaciones” [10].

Los mecanismos de representación del conocimiento, las ontologías y los agentes inteligentes, son las tecnologías requeridas en la construcción de esta nueva Web. El consorcio de la W3C, realiza la tarea de estandarización de estas tecnologías e impulsa proyectos que tienden a masificar su uso.

La visión propuesta, una Web con semántica, plantea el reto de garantizar que las máquinas “comprendan”,

interactúen en un medio certificado y bajo estrictos niveles de confianza. Este artículo se centra en mostrar la evolución de los lenguajes utilizados en la construcción de la WS, a partir de ilustrar el modelo de conocimiento que subyace en los lenguajes utilizados en la construcción de ontologías. Para el desarrollo temático se ha estructurado en seis secciones:

La sección dos, se ocupa de los diferentes formalismos para la representación del conocimiento, en la sección tres se hace un recuento de los diferentes lenguajes que pueden ser considerados como preontológicos y se relaciona su formalismo de representación.

Las secciones cuatro y cinco introducen el formalismo de los lenguajes RDF, RDF(S) y OWL. Finalmente, se relaciona la dirección de nuestro trabajo futuro y algunas conclusiones.

## 2. Representación Formal del Conocimiento.

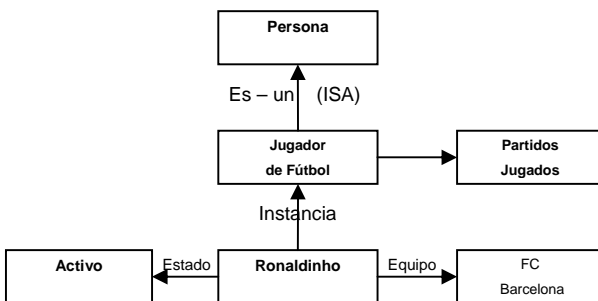
La actividad investigativa para modelar conocimiento y garantizar que las máquinas puedan “comprender”, e incluso “conocer”, ha sido un reto asumido por algunos subcampos de la Inteligencia Artificial (IA) desde sus inicios, donde se ha centrado la atención en “sistemas que conocen o que tienen la capacidad de simular conocimiento a través de mecanismos de razonamiento automatizado.” [23]. No fueron totalmente exitosos los esfuerzos desarrollados con los sistemas expertos, pero

en esta dirección se generaron resultados importantes. Dos de ellos son las Bases de conocimiento y la implementación de lenguajes con el propósito de facilitar el intercambio de conocimiento.

En la IA se han desarrollado formalismos para la representación de conocimiento: Redes Semánticas, Marcos, Lógica de Primer Orden (FOL), Lógica Descriptiva y Grafos Conceptuales. Las redes semánticas y los marcos, pueden ser considerados como ancestros de la lógica descriptiva y los grafos conceptuales. Se puede afirmar que es la lógica clásica de primer orden el formalismo que constituye el punto de partida. Se omite su descripción dada su misma universalidad.

2.1 Las redes semánticas. Se originan en el trabajo de Quillian [21], donde formaliza un mecanismo para representar conceptos, mediante grafos etiquetados dirigidos compuesto de un conjunto de nodos y un conjunto de lados unidireccionales. Los nodos representan conceptos, instancias de conceptos y valores de propiedad. Los lados representan propiedades de conceptos o relaciones entre conceptos. Estas relaciones pueden describir jerarquías clase/subclase, relaciones sujeto/objeto, relaciones basadas en operadores and/or.

La figura 1, presenta una red semántica que, describe una relación entre un concepto y su instancia, así como ejemplifica una relación ISA.



Básicamente, las redes semánticas distinguen entre conceptos e individuos, denotados por nodos genéricos y nodos individuales, respectivamente. Los arcos que representan relaciones subclase/superclase, permiten la construcción de jerarquías de conceptos y los vínculos que establecen propiedades denotan relaciones entre un concepto y sus propiedades.

El trabajo de Brachman [1] presenta una revisión de los diferentes formalismos que fueron desarrollados a partir de la propuesta de Quillian. En [2], es analizada una limitación fuerte de este modelo, destacando la ambigüedad de las relaciones subclase/superclase con las relaciones de propiedades la cual permite que sea trasladada una relación jerárquica como la especificación de un concepto. Esta ambigüedad se puede observar en la figura 1, donde las relaciones de propiedades, son

equivalentes a las relaciones clase/subclase denotadas por una relación ISA.

2.2 Marcos (Frames). El sistema de marcos, es propuesto por Minski [17] como una alternativa a los sistemas basados en lógica. Propone representar objetos, analogías, situaciones, etc, mediante estructuras de datos tipo registro conocidas como marcos (frames).

Un marco (frame) contiene ranuras (slots), para representar las propiedades conocidas acerca del objeto de conocimiento. Dada una situación, p.e. entrar a un restaurante, un marco representa el evento en sí mismo y es el conjunto de propiedades conocidas, es decir los valores de los slots, lo que determina el conocimiento adquirido sobre la situación.

Con sistemas basados en marcos, se puede realizar razonamiento. Este puede darse en dos vías: De un lado, mediante comparación de propiedades para que mediante la coincidencia se pueda realizar clasificación, por ejemplo un objeto puede ser clasificado como pájaro. De otra parte, se puede *completar* la información correspondiente a un marco que corresponde a una situación específica. Este formalismo es la base de un número considerable de sistemas expertos desarrollados entre 1985 y 1998.

Las redes semánticas tienen menos expresividad que los marcos, dado que no pueden representar, por ejemplo, valores por defecto, y restricciones de cardinalidad sobre los atributos. Hoy en día, los sistemas basados en marcos, y las redes semánticas son considerados como una sola familia de formalismos.

2.3 Grafos Conceptuales. Propuestos por Sowa en 1984 [22], pueden ser vistos como los sucesores de los formalismos de marcos y redes semánticas. Constituyen una base importante de los trabajos de KR, principalmente en el área de procesamiento de lenguaje natural (NLP).

Al igual que en la lógica descriptiva, los GC están interesados no solo en la representación del conocimiento sino en su capacidad para razonar. Estos servicios están extendidos a: decidir si un grafo es válido, probar la *subsumción* de un grafo en otro, e incluyen la expresividad de la lógica de primer orden. Sowa restringe los GC para garantizar *decibilidad* en este subconjunto, uno de los cuales es un tipo denominado Grafo Conceptual Simple (GCS).

En el GCS se determina una firma denominada *soporte*, que puede ser utilizada para fijar una ontología simple dado un dominio de aplicación. En ella se establecen tipos de conceptos, tipos de relaciones y marcadores individuales. Los GCS pueden ser mapeados en su semántica a lógica descriptiva, ó, a lógica de predicados de primer orden.

2.4 Lógica Descriptiva. Inicialmente, el trabajo investigativo en esta área se etiqueta bajo el rótulo *terminological systems*, haciendo énfasis en el papel del lenguaje para establecer los términos básicos del dominio modelado; posteriormente se conoce como *concept languages*, en estos, el énfasis está en la construcción de los conceptos. Finalmente, el énfasis se realiza en el sistema lógico subyacente y se adopta el término lógica de la descripción (*Description Logics*).

La lógica descriptiva, parte de la existencia de un conocimiento intencional y uno extensional, en toda base de conocimiento. El primero de ellos (conocido como TBOX) se representa por las jerarquías conceptuales del dominio de aplicación y puede ser asumido como la taxonomía de conceptos que representa la naturaleza de las relaciones de subsumción y demás relaciones que constituyen la terminología. El segundo, el conocimiento extensional, denominado conocimiento asercional, representa los individuos y es nombrado como el ABOX.

La estructura básica en un TBOX es el concepto, donde la definición de un nuevo concepto se realiza en términos de uno o varios existentes. Dos restricciones están presentes: No puede existir más de una definición por término y solo se permiten definiciones acíclicas, esto es, no se permiten definiciones que en forma directa o indirecta estén en términos de si mismos. De lo anterior se concluye que la tarea básica en la construcción de la terminología, es la clasificación, lo cual permite ubicar el concepto en el lugar adecuado.

El ABOX contiene el conocimiento sobre los individuos que participan del dominio de interés. Aquí se distingue entre *aserciones de contexto* y *aserciones de rol*. Las primeras hacen referencia a las relaciones que se establecen entre conceptos e individuos, las segundas hacen referencia a las relaciones establecidas entre individuos. Permitir estos dos tipos de aserciones aumenta la expresividad del lenguaje. El razonamiento básico en un ABOX, hace referencia al chequeo de instancias.

Baader, McGuinness, et al., presentan en el año 2003, una compilación de trabajos sobre este tema agrupados bajo el título "The Description Logic Handbook" [3].

### 3. Lenguajes pre-ontológicos.

3.1 Lenguajes de ontologías. Al despuntar la década del 90, desde el campo de la Inteligencia Artificial, surgen un cúmulo de lenguajes para la creación de ontologías basados en paradigmas de representación del conocimiento. Se presentan lenguajes basados en marcos, redes semánticas y FOL, para el modelado y el intercambio de conocimiento, que pueden ser considerados como los precursores de los actuales lenguajes para la construcción de ontologías.

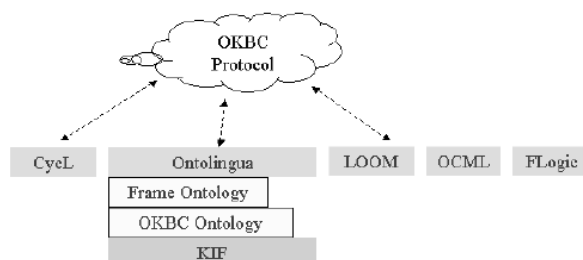


Figura 1. lenguajes tradicionales de ontologías

La Figura 1, propuesta en [6], muestra la relación que existe entre los principales lenguajes que son considerados como los tradicionales en la construcción de ontologías. La siguiente relación recoge los más destacados entre los diferentes paradigmas y sus principales características.

El primer lenguaje en ser creado es CycL por Lenat y Guha en 1990. Está basado en marcos y lógica de primer orden, y fue utilizado para construir la ontología de propósito general Cyc.

KIF (Formato para Intercambio de Conocimiento) [16], su modelo de conocimiento incluye lógica de primer orden, complementado con marcos. Es un lenguaje de bajo nivel pero de mayor poder *expresivo*, que algunos de sucesores como OKBC y Ontolingua. Fue diseñado para permitir traslaciones entre lenguajes de representación de conocimiento que fueran más especializados. Fue complementado por Ontolingua [8] [9] que se convirtió en un estándar de facto por la comunidad ontológica en la década de los 90, incluye una perspectiva orientada a objetos, una extensión basada en marcos y una librería de ontologías.

Casi en forma simultánea, es creado LOOM, (MacGregor 1991). Fue creado para construir bases de conocimiento en general y no ontologías. Está basado en lógica descriptiva, reglas de producción y provee clasificación automática.

GFP (Protocolo de Marco Genérico) [7], es un conjunto de funciones soportadas por una interfaz de programación de aplicaciones (API) genérica para sistemas de representación basados en marcos, desarrollados en 1995. El Editor de Base de Conocimiento Genérico (GKB-Editor), permite realizar búsqueda y edición de sistemas de representación de conocimiento. Estos trabajos fueron reemplazados, en 1998, por OKBC (protocolo para la Conectividad de Bases de Conocimiento Abierto) [19]. Este protocolo permite acceder bases de conocimiento almacenadas en diferentes sistemas de representación de conocimiento y las cuales pueden estar basadas en diferentes paradigmas de representación de conocimiento.

<sup>1</sup> "for internally representing and manipulating plans and planning information."

En [15] y [14], se presenta KQML (Lenguaje para Manipulación y Consulta de Conocimiento), el cual es un protocolo de formato y manejo de mensajes, basado en KIF, para comunicación entre *agentes*. Actualmente es utilizado, y ha sido complementado por otros lenguajes de comunicación entre agentes.

Todos ellos pueden ser considerados como los orígenes de los lenguajes para la construcción de ontologías actuales, complementados con características obtenidas de los lenguajes de marcado.

3.2 Lenguajes de ontologías basados en Web. La llegada del boom de Internet, genera una explosión de lenguajes para explotar las características de la Web. La figura 1, presenta la relación que se establece, entre los lenguajes de marcado, orientados a mejorar la semántica de la Web.

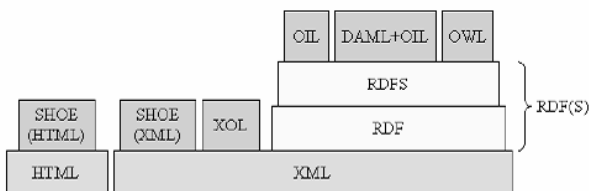


Figura 2. Lenguajes de marcado de ontologías

Aquí se puede observar que todos ellos están basados en la capacidad sintáctica de XML. La siguiente génesis es aportada por [5], y complementada por [25], [11], entre otros.

SHOE (Simple HTML Ontology Extensión), es un lenguaje de representación del conocimiento diseñado para la WEB, basado en asociar contenido de páginas Web ligándolas con una o varias ontologías. Se trata de una anotador de contenido asociado a páginas Web, su modelo de conocimiento son los marcos.

OML [13] fue parcialmente desarrollado con base en SHOE por La Universidad de Washington, y fue considerado una serialización de SHOE, puesto que comparten múltiples características. Su modelo de conocimiento son los grafos conceptuales.

Basado en la sintaxis de XML, se encuentran XOL y OML. XOL, Lenguaje para intercambio de Ontologías basado en XML, fue desarrollado tomando como base OML y Ontolingua, por parte de investigadores del área bioinformática en los Estados Unidos [12].

#### 4. RDF y RDF (S)

XML aporta su poder sintáctico para soportar el desarrollo de RDF (Marco para la Descripción de Recursos) y RDF(S) (RDF esquema), como una

herramienta orientada a compartir conocimiento en el WEB.

El modelo de datos de RDF consiste de tres tipos de objetos: Recursos, los cuales son expresiones RDF, están descritos mediante URI's y opcionalmente anclados a ID's; Propiedades, que describen las características, relaciones, y atributos o aspectos específicos de los recursos; y las Instrucciones que asignan un valor a una propiedad en un recurso específico.

Una instrucción RDF, consiste de sujetos, propiedades y objetos, p.e. Juan escribe un artículo, donde *Juan* es sujeto, *escribe* es el verbo, y *artículo* es el objeto, que también puede ser descompuesto en una instrucción RDF. Esta característica es llamada *reificación*. En el ejemplo *Juan* y *artículo* son recursos denotados por nodos y *escribe* es una propiedad denotada gráficamente por un arco.

El modelo de datos RDF no hace ninguna asunción sobre la estructura de un documento que contiene información RDF, permitiendo que las instrucciones puedan aparecer en cualquier orden dentro de una ontología.

Tampoco provee primitivas de modelado para definir las relaciones entre propiedades y recursos. Esta limitación es solucionada mediante el Lenguaje para Describir Vocabulario, conocido como RDF Schema, el cual extiende con primitivas basadas en el paradigma de KR de Frames. La combinación RDF y RDFS, es conocida como RDF(S).

EL RDFS provee los mecanismos para establecer las relaciones entre propiedades y recursos. Las primitivas de RDFS son agrupadas en: Clases, propiedades, contenedores de clases y propiedades, colecciones, vocabulario de reificación y propiedades de utilidad.

RDF(S) provee las primitivas básicas, necesarias para modelar ontologías, existe un balance adecuado entre sus capacidades de expresividad y razonamiento. Su desarrollo se realizó buscando un núcleo estable que pudiera ser fácilmente extendido. RDFS es usado ampliamente por diferentes herramientas como Protege, Mozilla y Amaya.

#### 5. OWL

Sobre RDF y RDFS se desarrollaron OIL, DAML-ONT y DAML+OIL. El lenguaje para intercambio de ontologías OIL, permite interoperabilidad semántica entre recursos WEB. La sintaxis y semántica están basadas en OKBC, XOL, y RDFS. DAML+OIL, fue desarrollado por un comité conjunto de Europa y Estados Unidos en el contexto del proyecto DARPA, para permitir interoperabilidad semántica en XML. Comparte el mismo objetivo buscado con OIL, y reemplaza el borrador propuesto para DAML-ONT. Sin embargo, estos dos

lenguajes pueden ser considerados como deprecados, ya que en la actualidad los esfuerzos por estandarizar, han centrado la actividad en OWL, el cual se ha construido a partir de ellos. En [18], se presenta una herramienta que extiende la funcionalidad de DAML. Esta herramienta permite importar ontologías.

El lenguaje de ontologías para el WEB (OWL), retoma de OIL su estructura de capas y de DAML-OIL la superposición que hace para extender a RDF(S), es decir que toda construcción de OWL, esta edificada sobre RDF. Actualmente, la W3C ha liberado la especificación de OWL. Este se encuentra soportado en el paradigma de Lógica Descriptiva, y viene presentado en tres capas: OWL Lite, OWL LD, OWL Full. Cada uno, ofrece una mayor capacidad expresiva, pero castiga su capacidad computable [20].

Una ontología en OWL, inicia con la declaración del nodo raíz de RDF. En este nodo podemos incluir el espacio de nombres (namespaces) para RDF, RDF(S) y OWL. Sin son utilizados tipos de datos pertenecientes a XML Schema, puede ser incluido su espacio de nombres.

El orden en el cual aparecen las definiciones no es relevante, lo usual es definir la cabecera y posteriormente sus términos. En su cabecera se puede incluir: la documentación de la ontología, las ontologías que son importadas, la versión con la información que permita controlar su compatibilidad con las demás versiones.

Los conceptos son conocidos como clases, cada uno de los cuales puede contener diversos elementos dependiendo de la capa del lenguaje que se esté utilizando. En OWL Lite cada clase contiene: Subclases, condiciones necesarias y suficientes para la clase, y expresiones de clase que incluyan el operador de intersección. En OWL DL, se extienden estas opciones para incluir: aserciones que las instancias de clase no pueden compartir con la expresión de clase, definiciones de clase en forma extensiva, y expresiones de clase que incluyan operadores de unión, intersección o complemento.

Para definir una propiedad, se puede señalar de manera explícita su dominio y su rango. En OWL Lite, la primitiva de rango puede hacer referencia únicamente a un identificador de clase o a un atributo nombrado. En OWL DL, no existen estas restricciones. De igual manera, con relación a las propiedades se puede definir: cualquier propiedad puede ser una sub-propiedad de otras propiedades, definir la equivalencia entre propiedades o definir la propiedad inversa .

Al definir una taxonomía es posible definir la disjunción de conceptos, conjunción o complemento de conceptos.

Las relaciones pueden ser definidas en términos de cardinalidad, su dominio y rango, e incorporar información lógica, como por ejemplo, transitividad y simetría.

Las instancias de la ontología, son definidas en términos de vocabulario RDF.

Finalmente, las familiaridades entre DAML-OIL y OIL con OWL han permitido que razonadores como RACER, FaCT, TRIPLE, hayan sido adaptados para trabajar con OWL, de igual forma, las bases de conocimiento que han sido creadas a partir de ellos.

## 6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.

Los límites impuestos al conocimiento que puede ser modelado e implementado, están dados por los formalismos de representación del conocimiento y el lenguaje utilizado para su implementación. Esta es quizá la más importante conclusión, de la cual se debe colegir, la necesidad de una selección adecuada del lenguaje y del formalismo que ha de ser usado, dependiendo de las necesidades expresivas de cada dominio de aplicación.

En la actualidad estamos preparando un estudio comparativo entre los elementos constitutivos de una ontología y las posibilidades de implementación, determinados por el formalismo de representación y las alternativas de los lenguajes. Este trabajo solo se realizará con los lenguajes: RDF, RDF(S), OWL LITE y OWL-DL. Los ejes del trabajo propuesto serán la expresividad y el rendimiento de los lenguajes seleccionados.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Brachman. *On the epistemological status of semantic networks*. Associative Networks, pages 3--50, 1979.
- [2] H.J. Levesque and R.J. Brachman. *A fundamental tradeoff in knowledge representation and reasoning*. In R.J. Brachman and H.J. Levesque, editors, *Readings in Knowledge Representation*. Morgan Kaufman, 1985.
- [3] Baader F, McGuinness D, Nardi D, Patel-Schneider "The description logic handbook: Theory, implementation, and applications", P. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. (2003)
- [4] Stefan Decker, Frank van Harmelen, Jeen Broekstra, Michael Erdmann, Dieter Fensel, Ian Horrocks, Michel Klein, Sergey Melnik. "The Semantic Web - on the respective Roles of XML and RDF". IEEE Intenernet Computing. (Sept - Oct 2000)

<sup>1</sup> "for internally representing and manipulating plans and planning information."

- [5] Asunción Gómez-Pérez, Oscar Corcho. “*Ontology Languages for the Semantic*” Web.IEEE Intelligent Systems. Jan-Feb 2002. P54-60.
- [6] Asunción Gómez-Pérez, Mariano Fernández-López, Oscar Corcho. “*Ontological Engineering*”. ISBN 1-85233-551-3. Springer-Verlag. 403 p.
- [7] Vinay K. Chaudhri, Adam Farquhar, Richard Fikes, Peter D. Karp, James P. Rice; “*The Generic Frame Protocol 2.01*.” July 21, 1997
- [8] Thomas Gruber. “*A translation approach to portable ontologies specification*”. Knowledge Systems Laboratory September Technical Report KSL 92-71. September 1992, Revised April 1993. 24p.
- [9] Thomas Gruber. “*Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing*”. Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation, Guarino & Poli (Eds). 1993.
- [10] Hendler, J., Berners-Lee, T., and Miller, E. “*Integrating Applications on the Semantic Web*”, 2002, <http://www.w3.org/2002/07/swint.html>
- [11] Ian Horrocks And Peter F. Patel-Schneider. *Three Theses of Representation in the Semantic Web*. Conference WWW 2003, mayo 20 -24 2003, Budapest. Hungary.p39-47
- [12] R. Karp, V. Chaudhri, and J. Thomere, “*XOL: An XML-Based Ontology Exchange Language. Versión 0,4*”. Aug. 1999., [www.ai.sri.com/~pkarp/xol](http://www.ai.sri.com/~pkarp/xol).
- [13] R. Kent, “*Conceptual Knowledge Markup Language (version 0,2)*”. 1998. (current ver 2002), [www.ontologos.org/CKML/CKML%200.2.html](http://www.ontologos.org/CKML/CKML%200.2.html).
- [14] Yannis Labrou and Tim Finin. *Proposal for a new KQML Specification*. February 3, 1997
- [15] Tim Finin, Jay Weber, Gio Wiederhold, Michael Genesereth, Richard Fritzon, Donald McKay, James McGuire, Richard Pelavin, Stuart Shapiro, Chris Beck. “*Specification of the KQML Agent-Communication Language plus example agent policies and architectures*”: The DARPA Knowledge Sharing Initiative External Interfaces Working Group. June 15, 1993
- [16] Michael R. Genesereth, Richard E. Fikes, in collaboration with Daniel Bobrow, Ronald Brachman, Thomas Gruber, Patrick Hayes, Reed Letsinger, Vladimir Lifschitz, Robert MacGregor, John McCarthy, Peter Norvig, Ramesh Patil, Len Schubert. *Knowledge Interchange Format Version 3.0. Reference Manual*.
- [17] Marvin Minsky. “*A Framework for Representing Knowledge*”. **MIT-AI Laboratory Memo 306, June, 1974.**
- [18] Joseph Kopena and William C. Regli. DAMLJessKB: “*A Tool for Reasoning with the Semantic Web*”. Intelligent Systems IEEE. May-June 2003. p74-77.
- [19] Vinay K. Chaudhri, Adam Farquhar, Richard Fikes, Peter D. Karp, James P. Rice; “*Open Knowledge Base Connectivity 2.0.31*”. April 9, 1998.
- [20] Sean Bechhofer, Frank van Harmelen, Jim Hendler, Ian Horrocks, Deborah L. McGuinness, Peter F. Patel-Schneider, Lynn Andrea Stein. “*OWL Web Ontology Language Reference*.” W3C Candidate Recommendation 18 August 2003. <http://www.w3.org/TR/2003/CR-owl-ref-20030818/>.
- [21] Quillian, M.R. (1968): *Semantic Memory*. (unpubl. Carnegie Inst. of Technology doctoral dissert. 1966) in part in: Minsky, M. (Ed.): *Semantic Information Processing*. Cambridge, Mass. (MIT Press) 1968, 216-270
- [22] J.F. Sowa, *Conceptual Structures*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1984.
- [23] Barry Smith, and, Christopher Welty. “*Ontology: Towards a New Synthesis*”. Proceedings of the international conference on Formal Ontology in Information Systems - Volume 2001. ACM October 2001. Piii-ix.
- [24] Tim Berners-Lee, James Hendler and Ora Lassila, “*The Semantic Web*”, Scientific American, May 2001
- [25] H.Wache, T. Vögele, U. Visser, H. Stuckenschmidt, G. Schuster, H. Neumann and S. Hübner. “*Ontology-Based Information Integration : a survey of existing approaches*”. 2001.
- [26] Ronald J. Brachman, Daniele Nardi. An Introduction to Description Logics, in “*The Description Logic Handbook*”. Cambridge University Press. 574 p. Enero 2003.