

Universidad Nacional de Luján

Departamento de Ciencias Básicas

Asignatura: Preparación y Evaluación de Proyectos



“Web Semántica: el enfoque clásico y sus limitaciones”

Autor: Juárez, Javier Eduardo

Director: Blanqué, Javier

2009

CONTENIDO

RESUMEN	5
ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	7
CAPÍTULO I. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA WEB SEMÁNTICA	8
I.1. Pasado, presente y futuro de la web	8
I.2. Definición de Web Semántica	9
I.3. La Web Semántica y la Web 3.0.....	13
I.4. Referencias	14
CAPÍTULO II. ENFOQUE CLÁSICO DE LA WEB SEMÁNTICA	16
II.1. Arquitectura en capas.....	16
II.2. Tecnologías de la Web actual.....	18
II.2.1. Estándares UNICODE / URI	18
II.2.2. XML.....	19
II.2.3. XML Schema	23
II.3. Tecnologías estandarizadas para la Web Semántica	26
II.3.1. RDF	26
II.3.2. RDFS	29
II.3.3. Ontologías.....	33
II.3.3.1. Definiciones	33
II.3.3.2. Componentes de las ontologías	35
II.3.3.3. Tipos de ontologías.....	35
II.3.3.4. Creación de Ontologías	37
II.3.3.5. Lenguajes para la creación de ontologías.....	41
II.3.3.6. OWL y OWL 2.....	44
II.3.4. SPARQL	47
II.4. Tecnologías aún no estandarizadas para la Web Semántica	48
II.4.1. RIF (Rule Interchange Format)	48
II.4.2. Unificación Lógica	49
II.4.3. Prueba.....	50
II.4.4. Confianza	50
II.5. Agentes.....	52
II.6. Referencias.....	53

CAPÍTULO III. DISCUSIONES Y CRITICAS	62
III.1. Crítica a la definición de Berners-Lee	62
III.2. Dificultades con el modelo clásico	63
III.3. Solapamiento de OWL sobre RDF Schema	63
III.4. Papel sintáctico y semántico de RDF.....	64
III.5. Evaluación de la arquitectura en capas	65
III.6. Nueva arquitectura para la Web Semántica.....	67
III.7. Desafíos de la Web Semántica	69
III.8. Referencias	70
CAPÍTULO IV. PROBLEMÁTICA DE LA REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO	72
IV.1. Qué se entiende por Representación del Conocimiento	72
IV.2. Limitaciones de la Representación del Conocimiento.....	75
IV.3. ¿Hombre y máquina colaborando?.....	78
IV.4. La Representación del Conocimiento en la Web Semántica	79
IV.4.1. Enfoques basados en lógica	79
IV.4.2. Sistemas basados en reglas	80
IV.4.3. Redes semánticas	80
IV.4.4. Lógicas Descriptivas	81
IV.4.5. Razonamiento	82
IV.5. Referencias	83
V. PROYECTOS.....	87
V.1. OpenCyc	87
V.2. DBpedia	90
V.3. Semantic MediaWiki.....	92
V.4. Proyecto Halo.....	93
V.5. Proyecto Open Mind Common Sense	96
V.6. Wolfram Alpha.....	97
V.7. Referencias.....	99
CONCLUSION	102
GLOSARIO	104
ANEXO I. EJEMPLO DE DEFINICION DE CONCEPTO EN OPENCYC ...	107
ANEXO II. EJEMPLO DE RESPUESTAS DE WOLFRAM ALPHA	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. La Web actual y la Web Semántica.....	12
Figura 2. Distintas versiones de arquitecturas de la Web Semántica	17
Figura 3. Grafo RDF.....	28
Figura 4. Jerarquía de clases para el Esquema RDF	32
Figura 5. RDF y RDF Schema.....	33
Figura 6. Estructura de OWL 2.....	45
Figura 7. Propuesta de arquitectura para la Web Semántica.	67

RESUMEN

La World Wide Web, ese inmenso océano de datos, fue concebida y desarrollada desde sus inicios para ser utilizada principalmente por humanos. Con el pasar de los años, la web fue modificando la manera que las personas se comunican, hacen su trabajo, realizan transacciones o acceden a diversos recursos independientemente de su ubicación geográfica e idioma. Prácticamente cualquier tipo de información puede encontrarse en la web, y alcanza con contar con un simple y potente buscador.

Todos estos factores han favorecido al éxito de la web. Sin embargo, son también estos factores los que han acarreado sus principales problemas: exceso de información y heterogeneidad de fuentes de información con el consecuente problema de hacer la web inoperable.

Por otro lado, si bien los motores de búsqueda han evolucionado en los últimos años, continúan catalogando y clasificando los datos, pero no siempre interpretándolos. Esto se debe a que todos los datos pueden ser “leídos” por las máquinas, pero la mayoría no pueden ser “entendidos” por las mismas, requiriendo la intervención del hombre para producir información a partir de esos datos. Esto se debe a que los datos no tienen semántica, es decir, no tienen significado para los ordenadores.

Hoy en día, para muchos de los usuarios o “navegantes”, realizar una búsqueda en Internet provoca bastantes frustraciones y tiempo de dedicación que no siempre conduce a encontrar lo que se está buscando. Esto ocurre debido a varios factores. Por un lado, la mayoría de los buscadores conocidos realizan búsquedas indexadas por palabras, términos o metadatos (datos sobre datos) que contienen las páginas web, lejos de realizar una interpretación de su significado. Otro de los factores, es el hecho de que los creadores de páginas web, frecuentemente incluyen palabras que pocas veces se relacionan con el contenido del documento, con el fin de que éstos sean bien posicionados en los resultados generados por los motores de búsqueda. La combinación de estos dos factores provoca resultados de baja calidad.

Para que los motores de búsqueda generen resultados de mayor calidad, sean más precisos y retornen la información esperada, es necesario que cuenten con cierta

inteligencia que les permita procesar, razonar y deducir sobre los datos que leen. Es decir, deben ser más inteligentes. Pero, también es importante que los datos a los cuales van a acceder cuenten con una estructura y significado que les permita descubrir, comprender e intercambiar información de manera automatizada, o por lo menos así lo creen quienes apoyan esta nueva concepción de la web a la que se conoce como Web Semántica, la cual procura implementar un lenguaje para “hablar” en la web.

Para que los avances y beneficios en esta materia sean posibles, será indispensable que diversas tecnologías y ramas de estudio converjan para aportar sus herramientas y experiencias. Tal es el caso de la Inteligencia Artificial que, desde hace décadas, se dedica a estudiar y crear sistemas que se desempeñen y aprendan por sí solos, basándose en el pensamiento y comportamiento humano. De este modo, con aportes de la Inteligencia Artificial en áreas como la representación del conocimiento, o el uso de ontologías para definir conceptos y relaciones en un contexto determinado, puede facilitarse la comunicación y el intercambio de información entre diferentes sistemas.

Por ello, el presente trabajo tiene por objeto analizar, en primera instancia, el enfoque llamado “clásico” acerca de la Web Semántica, centrándose en el estudio de sus componentes. Luego se presentarán algunas posturas y críticas respecto a este enfoque. También se analizará el tema de la representación del conocimiento que, como se verá, juega un papel fundamental en la Web Semántica. Por último, se mencionarán algunos proyectos cuya experiencia y aceptación pueden conformar un aporte significativo para la Web Semántica.

ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

- Capítulo I: Conceptos básicos de la Web Semántica. En este capítulo se explicará en qué consiste la Web Semántica, utilizando para ello principalmente la definición de su pensador. Además se realizará una breve reseña del estado actual de la Web. También se intentará relacionar los términos Web 1.0, Web 2.0 y Web 3.0 con la Web Semántica.
- Capítulo II: Arquitectura de la Web Semántica. El objetivo de este capítulo es analizar la estructura de la Web Semántica, presentando cada uno de sus componentes y explicando su función dentro del modelo clásico que siguen los desarrollos actuales.
- Capítulo III: Discusiones y otras alternativas. Esta sección tiene por finalidad exponer puntos de vista alternativos al enfoque clásico de desarrollo de la Web Semántica, como así también presentar distintas opiniones o críticas al modelo propuesto en el Capítulo II.
- Capítulo IV: Representación del Conocimiento. Este capítulo tiene como finalidad exponer las principales posturas respecto a un tema de fondo de vital importancia para el desarrollo de la Web Semántica, la Representación del Conocimiento.
- Capítulo V: Proyectos. En este capítulo se expondrán algunos de los principales proyectos vinculados a la representación del conocimiento y a la Web Semántica.
- Anexo I: Ejemplo de definición de un concepto en OpenCyc, la principal base de conocimientos de la actualidad.

CAPÍTULO I. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA WEB SEMÁNTICA

I.1. Pasado, presente y futuro de la web

Finalizaba la década del 80 cuando el físico Tim Berners-Lee presentaba en el CERN¹ su proyecto de unir HTTP con HTML. La idea era utilizar hipertexto junto a Internet para poder ver, de manera rápida y sencilla, documentos vinculados entre sí, lo cual facilitaría la tarea de los investigadores del CERN. La concreción de este proyecto recibió el nombre de World Wide Web.

En un comienzo, HTML era utilizado para mostrar sólo texto. Pero con el surgimiento de nuevos navegadores cada vez con más funciones, HTML también pudo ser utilizado para mostrar imágenes, tablas y otros elementos. [2]

Luego fueron surgiendo nuevas tecnologías que permitieron la generación dinámica de páginas web, otorgando al usuario información actualizada en tiempo real, facilitando el acceso a bases de datos, o teniendo en cuenta las entradas de datos de los usuarios, y más aún, sirvieron como punto de acceso y plataforma para la ejecución de aplicaciones distribuidas.

Así, tal como se la conoce hoy, la World Wide Web permite compartir una diversidad de recursos a través de páginas web que constantemente son analizadas e interpretadas por el ser humano en busca de información específica como así también realizar muchas tareas que años atrás nadie pensaba que podrían realizarse. Hoy en día pueden comprarse productos, adquirir servicios, operar una cuenta bancaria o realizar una reserva. Si bien con el pasar de los años la web se fue convirtiendo en la principal fuente de información, su estructura actual proporciona la posibilidad de que sólo el hombre pueda comprenderla, y no las máquinas. Además, la creciente cantidad de datos ha incrementado la dificultad para buscar, acceder, presentar y dar mantenimiento a la información requerida por los usuarios. ¿Por qué? Porque los datos que en ella se encuentran carecen de significado, no están interconectados entre sí, resultan ambiguos y son poco precisos; lo

¹ CERN: Centro Europeo para la Investigación Nuclear

cual, sumado al hecho de que los agentes automatizados carecen de un nivel de inteligencia y razonamiento semejante al del hombre, les impiden interpretar los datos.

Es por ello que Tim Berners-Lee introdujo un nuevo concepto: Web Semántica. Con las ideas y cambios que trae aparejado este concepto, se pretende dar inicio a una nueva etapa de la web, donde la misma esté dotada de conocimiento y así resolver los inconvenientes y/o limitaciones de la web actual. Pero, para la concreción de las ideas de Berners-Lee, será esencial un cambio de actitud en quienes realizan desarrollos web, publicaciones, etc. para incorporar a la web el lenguaje que permita añadirle el conocimiento necesario. [1]

I.2. Definición de Web Semántica

Para explicar su significado se partirá de algunas palabras de su “pensador”, Tim Berners-Lee, quien definió y caracterizó la Web Semántica así:

“El primer paso es colocar datos en el Web de una forma que las máquinas puedan entenderlos de manera natural, o convertirlos a esa forma. Esto crea lo que yo llamo un Web Semántico; una red de datos que pueden ser procesados directa o indirectamente por máquinas”. [2]

“...una extensión de la Web actual en la que el significado de la información esté bien definido, permitiendo al hombre y las máquinas trabajar en cooperación.” [1]

“La Web Semántica habilitará a las máquinas a comprender datos y documentos semánticos...” [1]

“El desafío de la Web Semántica es proveer un lenguaje que exprese tanto los datos como las reglas de razonamiento y que permita que esas reglas sean exportadas a la web desde cualquier sistema de representación del conocimiento.” [1]

Algunas de estas afirmaciones son discutibles y han sido motivo de diversas críticas al respecto. Esto se debe a que, por ejemplo, hombre y máquina podrían “trabajar en

cooperación” siempre y cuando cuenten con un nivel de inteligencia comparable que les permita interactuar y conversar de igual a igual.

De las aseveraciones mencionadas, y del artículo en general [1], puede deducirse que el objetivo de la Web Semántica es lograr que el contenido de la web actual pueda ser interpretado y *comprendido* por las máquinas de forma similar a como lo hacen las personas y, para lograrlo, se propone declarar los datos y su significado de manera explícita, donde no haya confusión al referirse a un objeto, y donde las relaciones entre éstos también estén declaradas. Lograr esto permitiría que agentes automatizados realicen, entre otras cosas, búsquedas precisas en las páginas Web. Hay que tener en cuenta que esto sería posible siempre que se haga referencia a un mismo contexto ya que, como se analizará más adelante, ha sido demostrado que todo lenguaje presenta contradicciones.

Además, otorgando más significado y semántica a la Web, se brinda la posibilidad a cualquier usuario de encontrar respuestas a sus preguntas de manera más eficiente. Pueden, además, obtenerse soluciones a problemas habituales en la búsqueda de información gracias al uso de una infraestructura común que permita compartir, procesar y transferir información de manera simple. Para lograr esto, la Web debe basarse en un lenguaje universal que le otorgue semántica, dado que en la actualidad carece de ella. [5]

Con lo anterior, se hace referencia básicamente a los contenidos que pueden encontrarse actualmente en la Web. Pero eso no es todo. A diario las personas tienen la necesidad de acceder a una gran cantidad de datos que no forman parte de la Web. Muchos de éstos existen en diversas bases de datos de organizaciones privadas o de usuarios particulares, pero en formatos que son generados y presentados por aplicaciones independientes, que no comparten un mismo modo de representar la información, y por tal sólo pueden ser interpretados por el hombre. Es decir, los datos generados por dichas aplicaciones son presentados como un texto más en las páginas Web, y el significado de los mismos sólo puede ser percibido por el ser humano en el momento de leer esa página. Por eso, se espera que los ordenadores puedan desarrollar tareas de gestión que requieran interpretar información y tomar decisiones adaptándolas al contexto. [4]

Un ejemplo podría ser la necesidad de realizar una reserva en un restaurante de cocina italiana de la Ciudad de Buenos Aires para el próximo viernes a partir de las 21

horas, para 5 personas. Lo ideal sería que la tarea le sea encargada a un asistente digital, y que éste se encargue de realizar la búsqueda, comparar precios, disponibilidad, y efectivizar la reserva.

Asumiendo que las tareas del ejemplo anterior puede hacerlas un agente siempre que sea inteligente, puede percibirse que se desprenden dos maneras de definir la inteligencia. Por un lado, aquella donde partiendo de ciertos parámetros otorgados al agente, éste pueda encontrar las respuestas correctas para cumplir su propósito, con lo cual se lo considera inteligente. Este sería un enfoque pragmático. O bien, donde para ser inteligente, el agente sin conocer las preferencias de quien le encarga la tarea o sin contar con conocimientos de gastronomía, deba adquirirlas a través de los sentidos, adaptándose al entorno, aprendiendo de él, e incluso modificándolo. En este caso, sería un enfoque más filosófico.

En el sitio web del W3C², se la llama también *web de datos* y se aclara que la Web Semántica se ocupa de dos aspectos. Por un lado, la integración, combinación y presentación de datos obtenidos de distintos recursos, en formatos comunes. Y además, un lenguaje que permita describir cómo se relacionan los datos con el mundo real. Esto otorgaría la posibilidad que tanto las personas como las computadoras “naveguen” en bases de datos conectadas entre sí sólo por el hecho de “hablar de lo mismo”; es decir, de referirse a los mismos objetos. [4]

Dos afirmaciones adicionales del W3C sostienen:

“La Web Semántica como infraestructura basada en metadatos aporta un camino para razonar en la Web, extendiendo así sus capacidades.” [5]

“No se trata de una inteligencia artificial mágica que permita a las máquinas entender las palabras de los usuarios, es sólo la habilidad de una máquina para resolver problemas bien definidos, a través de operaciones bien definidas que se llevarán a cabo sobre datos existentes bien definidos.” [5]

² W3C: World Wide Web Consortium. Consorcio internacional que genera estándares para la World Wide Web.

Estas dos últimas definiciones aparentan ser las más centradas, austeras y más precavidas en cuanto a los términos que utilizan. Hablar usando términos como “entender”, “comprender”, “inteligente” y otros, es bastante confuso en el contexto de la web. Pretender que una máquina pueda realizar tareas que actualmente desarrolla una persona, sería más acorde para el campo de la Inteligencia Artificial, quien ya viene estudiando el problema desde hace cincuenta años.

Sería más razonable describir la Web Semántica como un área donde la Inteligencia Artificial y las tecnologías web se unen para aportar nuevas metodologías y lenguajes que permitan representar la información y el conocimiento, con el objetivo de simplificar las tareas de ubicación, compartimiento, relación y obtención de recursos a través de la web.

En la figura presentada a continuación se ilustra una comparación de la web actual frente a la Web Semántica.

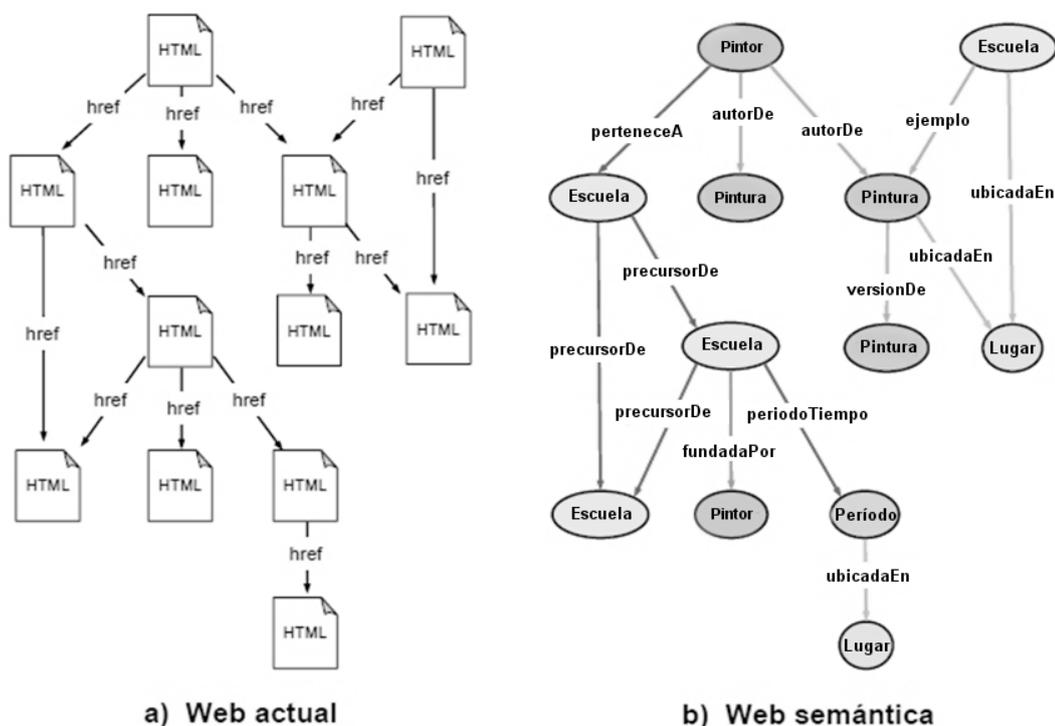


Figura 1. La Web actual y la Web Semántica. [3]

La web actual se parece a un grafo formado por nodos del mismo tipo, y arcos (hipervínculos) que tampoco se diferencian. En el ejemplo, no se percibe diferencia entre la página personal de un pintor y el portal de un comercio on-line, como tampoco se

distinguen de manera explícita los enlaces a las obras realizadas por un pintor de aquellos enlaces que indican la escuela a la que pertenece. En forma opuesta, en la Web Semántica cada nodo o recurso se corresponde a un tipo (escuela, pintor, libro), mientras que los arcos simbolizan relaciones explícitamente diferenciadas (pintor – obra, obra – lugar, pintor – escuela). [3]

La Web Semántica conserva las bases que han hecho un éxito de la web actual, como son los principios de descentralización, compartición, compatibilidad, facilidad de acceso y contribución, o la apertura al crecimiento y fines no previstos de antemano. En este contexto, un inconveniente clave es conseguir un entendimiento entre las partes que han de interesarse en el desarrollo y explotación de la web: usuarios, desarrolladores y programas de diverso perfil. [3]

I.3. La Web Semántica y la Web 3.0

Muchas veces se ha escuchado mencionar “Web 3.0”, a la cual generalmente se la relaciona con la Web Semántica, pero ¿es lo mismo? No existe una definición precisa de lo que significa “Web 3.0”. Sin embargo, en un artículo, Alan Cox da su punto de vista de lo que se pretende decir al hablar de Web 3.0 desde la visión de los usuarios generales, como así también mostrar la diferencia con la Web 1.0 y 2.0.

Podría considerarse que la Web 1.0 era una web de *sólo lectura*. Con esto se hace referencia a que los usuarios tenían poca interacción o, mejor dicho, poca contribución en la web. Para el usuario consistía básicamente en buscar información y leerla, mientras que para los propietarios de los sitios web el objetivo era imponer presencia online con información disponible para cualquiera y en todo momento.

Desde el mismo punto de vista, podría describirse a la Web 2.0 como del tipo *lectura-escritura*. Se les brinda a los usuarios la capacidad de contribuir con contenido e interactuar entre sí. Esto puede verse en sitios web como YouTube, MySpace, blogs y otros similares. El usuario se ve más envuelto en el tipo de información que está disponible.

La llamada Web 2.0 también es considerada una revolución social en el uso de tecnologías Web, un paradigma de cambio de la Web que pasó de ser un medio para publicar a un medio de interacción y participación. [6]

Por otro lado, también se mencionan las aplicaciones Web 2.0, refiriéndose a las tecnologías utilizadas para construir sitios web.

Siguiendo con el mismo lineamiento adoptado para diferenciar la evolución de la web, la Web 3.0 sería considerada como de *lectura-escritura-ejecución*. Para explicar lo que significa se mencionarán dos cosas, marcado semántico y servicios web. Con marcado semántico se hace referencia a una forma de indicar el significado de los datos, que junto a formatos de intercambio de datos, permite que la información no sólo este accesible para el hombre, sino también para las aplicaciones. Esta noción de aplicar un formato a los datos para ser interpretados por agentes de software representa la idea de “ejecución” utilizada anteriormente. La segunda mención, los servicios web, consiste en software diseñado para soportar interacción de computadora a computadora sobre internet. Estos servicios web, actualmente adoptan la forma de API.

Lo expuesto anteriormente es sólo un punto de vista, y como se aclaró al principio, no hay una manera de definir a la Web 3.0. Sin embargo, adoptando estas descripciones podría señalarse que la Web Semántica, de concretarse, constituiría una nueva fase de la Web, o parte de la muy nombrada Web 3.0.

I.4. Referencias

- [1] Berners-Lee, Tim – Hendler, James – Lassila, Ora. 2001. “The Semantic Web”. Scientific American Magazine. [En línea]. Disponible en internet en: <http://www.sciam.com/article.cfm?id=the-semantic-web> [con acceso el 23/08/2008]
- [2] Berners-Lee, Tim. 2000. “Tejiendo la Red”. Siglo Veinticinco Editores, ISBN 84-323-1040-9

- [3] Castells, Pablo. “La Web Semántica”. Universidad Autónoma de Madrid. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.ii.uam.es/~castells/publications/castells-uclm03.pdf>> [con acceso el 24/02/2009]
- [4] W3C. “W3C Semantic Web Activity”. W3C Semantic Web. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.w3.org/2001/sw/>> [con acceso el 15/05/2008]
- [5] W3C. “Guía Breve de Web Semántica”. World Wide Web Consortium, Oficina Española. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.w3c.es/Divulgacion/GuiasBreves/WebSemantica>> [con acceso el 07/07/2009]
- [6] Lassila, O. – Hendler, J. 2007. “Embracing ‘Web 3.0’”. IEEE Computer Society. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.mindswap.org/papers/2007/90-93.pdf>> [con acceso el 07/07/2009]
- [7] Cox, Alan. 2007. “Basic Definitions: Web 1.0, Web. 2.0, Web 3.0”. Practicalecommerce.com. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.practicalecommerce.com/articles/464-Basic-Definitions-Web-1-0-Web-2-0-Web-3-0>> [con acceso el 07/03/2009]

CAPÍTULO II. ENFOQUE CLÁSICO DE LA WEB SEMÁNTICA

II.1. Arquitectura en capas

Una arquitectura en capas está organizada jerárquicamente, donde cada capa proporciona un servicio a la capa que está encima y se sirve como cliente de aquella que está debajo. Además, la idea básica de este tipo de estructura es que cada capa agregue valor a los servicios que proveen las capas inferiores. Los conectores que vinculan las capas entre sí, están definidos por protocolos que determinan cómo deben interactuar.

Existen ciertas propiedades que caracterizan a este tipo de arquitecturas. Primero, soportan un diseño basado en niveles incrementales de abstracción, lo cual permite su implementación dividiendo un problema complejo en varios pasos incrementales. Segundo, las capas soportan mejoras, ya que cambios realizados en determinada capa, se verán reflejados en las capas adyacentes a causa de la interacción que mantienen entre sí. Tercero, es posible la reutilización. Distintas implementaciones de una misma capa pueden ser realizadas siempre que soporten las mismas interfaces con la capa superior e inferior. [13] [15]

Por último, otra característica importante, una capa no puede disponer de las funcionalidades de capas superiores, ya que cada una debe interactuar con las otras respetando un estricto orden de relación. [14]

El ejemplo más conocido de este tipo de arquitectura es el modelo de referencia OSI³, desarrollado por la ISO⁴. El mismo consiste en una arquitectura de siete capas que define los métodos y protocolos requeridos para conectar computadoras a través de una red. [15]

El enfoque para la Web Semántica propuesto por Tim Berners-Lee consiste en un modelo de arquitectura en capas. La Figura 2 muestra las distintas versiones presentadas en el transcurso de los últimos años. [51] [52] Si bien los componentes son básicamente los

³ OSI: Open Systems Interconnection (Interconexión de Sistemas Abiertos)

⁴ ISO: International Organization for Standardization (Organización Internacional para la Estandarización)

mismos en todas las versiones, lo que varía es la capa en donde actúa cada uno, resultando esto no del todo claro.

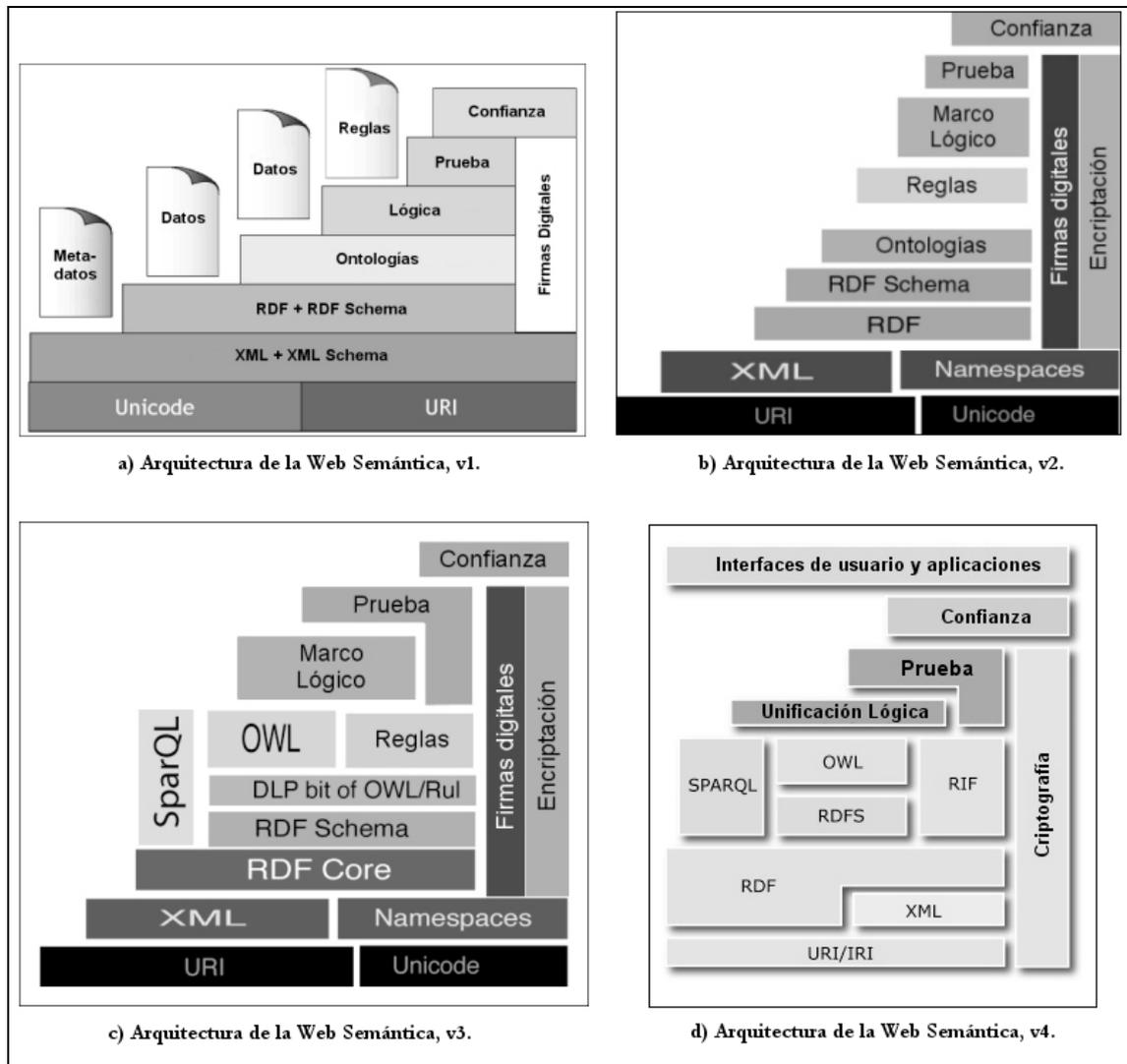


Figura 2. Distintas versiones de arquitecturas de la Web Semántica [51][56][57][52]

La web actual se basa principalmente en HTML y XML, que describen cómo la información será mostrada para la lectura humana. XML puede ser capaz de intercambiar datos a través de la web, pero sin expresar el significado de los mismos.

La incorporación de elementos como lenguajes de ontologías, conectividad lógica y sistemas de reglas pretende convertir a la Web Semántica en un cambio de paradigma respecto a la web actual. Con XML Schema, es suficiente para intercambiar datos entre partes que hayan aceptado definiciones de antemano.

Agregando lenguajes como Resource Description Framework (RDF) y Web Ontology Language (OWL), los cuales son conceptualmente más ricos que HTML, se alcanza la capacidad de representación de significado y estructura de contenido. Si bien RDF y su extensión, RDF Schema (RDFS), permiten algunas representaciones de ontologías, ambos tienen limitaciones. Para lograr mayor expresividad se incorpora OWL sobre RDFS, agregando así más vocabulario para describir propiedades y clases, relaciones entre clases, cardinalidad, entre otros. El contenido web pasa a ser procesable por agentes de software, permitiendo además el desarrollo de tecnologías que recuperen, procesen y analicen la información. [59]

Algunas de las tecnologías mencionadas existen en la Web actual, mientras que otras son las que permiten agregarle semántica. Así, se intenta demostrar que la Web Semántica es una extensión de la Web actual, y no un reemplazo. En las siguientes secciones se explayarán las funciones y características de cada uno de los componentes, los cuales fueron separados en tres grupos:

- Tecnologías de la Web actual
- Tecnologías estandarizadas para la Web Semántica
- Tecnologías aún no estandarizadas para la Web Semántica

II.2. Tecnologías de la Web actual

Las capas inferiores hacen referencia a tecnologías que ya son utilizadas en la web hipertextual y que, sin cambio alguno, conforman la base de la Web Semántica.

II.2.1. Estándares UNICODE / URI

Unicode es un estándar para la representación digital de caracteres independientemente del idioma. Provee un mismo significado para almacenar, buscar e intercambiar texto en cualquier idioma. [2]

Un URI (Uniform Resource Identifier) es una cadena corta de caracteres que permite identificar inequívocamente un recurso abstracto o físico. Mediante la utilización de URI se logra la localización de recursos de información en la Web sin posibilidad de ambigüedad. Un URI se compone de [3]:

- Esquema: nombre que indica una especificación para asignar los identificadores, por ejemplo “urn:”, “tag:”, “cid:”. También puede representar el protocolo de acceso al recurso, por ejemplo “http:”, “mailto:”, “ftp:”.
- Autoridad: elemento jerárquico que identifica la autoridad de dominio, por ejemplo unlu.edu.ar.
- Ruta: Información comúnmente organizada jerárquicamente, que identifica al recurso en el ámbito del esquema URI y la autoridad de nombres (por ejemplo /posgrado.htm).
- Consulta: Información con estructura no jerárquica (usualmente pares “clave=valor”) que identifica al recurso en el ámbito del esquema URI y la autoridad de nombres. El comienzo de este componente se establece mediante el carácter “?”.
- Fragmento: Permite identificar una parte del recurso principal. El comienzo de este componente se indica mediante el carácter '#’.

II.2.2. XML

XML (eXtensible Markup Language) es un lenguaje de marcado desarrollado por el W3C, y consiste en una adaptación simplificada de SGML⁵ que permite definir la gramática de lenguajes específicos. Fue creado de modo que documentos bien estructurados puedan ser usados en la web, ya que alternativas como HTML y SGML no son prácticas para este propósito. [4]

Los objetivos del desarrollo de XML son: [5]

⁵ SGML: Standard Generalized Markup Language. Es un sistema para organizar y etiquetar documentos, normalizado por la ISO.

- Que los usuarios puedan ver los documentos XML tan fácil y rápidamente como aquellos realizados en HTML.
- Que soporte una amplia variedad de aplicaciones, ya sean de navegación, análisis de contenidos, etc.
- Que sea sencillo desarrollar programas que procesen documentos XML.
- Sea compatible con SGML, ya que mucha información se encuentra en dicho lenguaje de marcado. XML fue diseñado para ser compatible con los estándares existentes.
- La cantidad de características opcionales sea mantenida al mínimo, preferentemente cero, dado que de lo contrario traería aparejado inevitables problemas de compatibilidad.
- Sea lo más claro posible y legible por el ser humano.
- El diseño de XML sea formal y conciso.
- Los documentos XML sean sencillos de crear, incluso con simples editores de texto, sino se cuenta con alguno específico.

Existen seis tipos de etiquetas de marcado que pueden aparecer en un documento XML: elementos, referencias a entidades, comentarios, instrucciones de procesamiento, secciones marcadas y declaraciones de tipos de documentos. A continuación se explicará el concepto de cada una de estas etiquetas.

Elementos. Son la forma más común de marcado. Están delimitados por los signos de menor y mayor y la mayoría identifican la naturaleza del contenido que encierran. Puede darse el caso que un elemento esté vacío.

Atributos. Los atributos son pares nombre-valor que se ubican luego del nombre del elemento en la etiqueta de inicio del mismo.

Referencias a entidades. Algunos caracteres son reservados para identificar el inicio de una marca. En XML, cuando se necesita representar uno de esos caracteres especiales se utilizan las entidades, las cuales también se aplican cuando se desea referenciar repetidamente un mismo texto que pueda variar o incluir el contenido de archivos externos. Cada entidad tiene un nombre único y, cuando es necesario, se la referencia simplemente por su nombre.

Comentarios. Los comentarios no son parte del contenido textual de un documento XML.

Instrucciones de procesamiento. Las instrucciones de procesamiento son una vía para pasar información a una aplicación. A diferencia de los comentarios, requieren un procesador de XML para ser enviadas a la aplicación.

Secciones CDATA. En un documento XML, una sección CDATA indica al analizador gramatical que ignore los caracteres de marcado.

Declaraciones de Tipo de Documento. Uno de las grandes ventajas de XML es que permite al usuario crear sus propios nombres de etiquetas. Pero es posible que, para una aplicación, no sea significativo el orden en que aparezcan dichas etiquetas, por lo cual debe existir algún tipo de restricción que indique la secuencia y anidamiento que deben respetar las etiquetas. Las declaraciones permiten expresar dichas restricciones. En modo general, las declaraciones permiten a un documento comunicar meta-información al analizador gramatical acerca de su contenido. Esa meta-información puede incluir:

- secuencia y anidamiento de etiquetas que se permitirá
- valores de atributos, sus tipos y valores por defecto
- nombres de archivos externos que pueden ser referenciados
- formatos de datos externos que no sean XML que pueden ser vinculados
- entidades que pueden ser encontradas

En XML, existen cuatro tipos de declaraciones: tipo de elemento, lista de atributos, entidades y notación.

Declaración de Tipo de Elemento. Identifica el nombre del elemento y la naturaleza de su contenido. Las declaraciones de todos los elementos usados en cualquier modelo de contenido también deben estar presentes para que procesador de XML verifique la validez del documento.

Declaración de Lista de Atributos. Se utiliza para indicar cuáles elementos pueden tener atributos, qué atributos, los valores de éstos y cuáles son los valores por defecto. En la declaración, cada atributo tiene tres partes: un nombre, un tipo y el valor por defecto.

Declaración de Entidades. Permite asociar un nombre con algún fragmento de contenido, el cual puede ser texto, referencia a un archivo externo que contenga texto o datos binarios.

Las entidades pueden ser:

- Internas: asocian un nombre con una cadena o literal de texto.
- Externas: asocian un nombre con el contenido de un archivo.
- De parámetros: pueden estar sólo en la declaración de tipo de documento. Permiten dar un nombre descriptivo a un contenido, y luego utilizarse para declarar elementos haciendo referencia a dicha entidad. Los elementos adoptarán la misma definición literal de la entidad.

¿Cuándo es necesaria la Declaración de Tipos de Documentos?

Si bien un documento XML puede ser procesado sin este tipo de declaración, en algunos casos se requiere que esté presente; por ejemplo, en entornos de autoría donde es necesario leer y procesar declaraciones para entender los modelos de contenidos del documento en cuestión; cuando un documento se basa o contiene valores por defecto de atributos, lo cual asegura la obtención de valores correctos para los mismos; y, cuando se utilizan espacios en blanco dentro de un elemento, ya que su significado puede diferir del utilizado en otros tipos de documentos. [5]

Validez de documentos XML

Existen dos categorías de documentos XML

- Bien Formados: se los considera así cuando respetan las sintaxis XML. Si incluye secuencias de caracteres de marcado que no pueden ser analizados o son inválidas, no sería bien formado.
- Válidos: un documento bien formado es válido si contiene una declaración de tipo de documento adecuada y si el documento respeta las restricciones de la declaración (la secuencia de elementos y anidamiento son válidos, se dispone de los atributos requeridos, los valores de los atributos son del tipo correcto, etc.)

Más detalle de este criterio puede encontrarse en la especificación XML.

XML brinda la base sintáctica para la estructuración del contenido en la Web, permitiendo al desarrollador crear sus propias etiquetas, tales como comentarios ocultos dentro de una página Web o determinar secciones de texto dentro de la página.

Los tags o etiquetas que incorpora quien escribe las páginas Web pueden ser utilizadas por desarrolladores de programas o scripts de diversas maneras, pero conociendo antes el significado de cada uno. Pero, si bien XML proporciona libertad a los usuarios para agregar estructuras personales en sus documentos, no hace mención al significado de la misma. [5]

II.2.3. XML Schema

XML Schema es un lenguaje de esquema, desarrollado por el W3C, que se utiliza para describir la estructura y limitaciones de los contenidos de los documentos XML de manera precisa.

Los documentos esquema fueron creados como una alternativa a las DTD (Document Type Definition), más complejas, intentando conseguir nuevas capacidades a la hora de definir estructuras para documentos XML. El principal aporte de XML Schema es la gran diversidad de tipos de datos que añade, ampliando las posibilidades y funcionalidades de aplicaciones de procesamiento de datos al incluir tipos de datos complejos como fechas, números y cadenas de texto. [11]

La función de un esquema es declarar clases de documentos XML; por lo tanto, cuando se hace mención a un documento instancia, es para describir un documento XML que se ajusta a un esquema particular. Es más, ningún esquema necesita existir como documento propiamente dicho, ya que pueden ser cadenas de bytes enviadas entre aplicaciones, campos en una base de datos, o colecciones de ítems de información XML. [12]

Un XML Schema permite definir: [6]

- Elementos que pueden aparecer en un documento
- Atributos que pueden estar en un documento
- Cuáles elementos son elementos hijos
- El orden de los elementos hijos
- El número de elementos hijos
- Cuándo un elemento está vacío o puede incluir texto
- Tipos de datos para los elementos y atributos
- Valores fijos y por defecto para los elementos y atributos

Los esquemas XML son considerados los sucesores de las DTD, y poseen algunos beneficios sobre éstas:

- Son extensibles a futuros agregados y permiten reutilizar los esquemas en otros esquemas, crear tipos de datos propios a partir de estándares y referencias a múltiples esquemas en un mismo documento.
- Son más ricos y poderosos
- Están escritos en XML, lo cual permite editarlos utilizando el mismo editor y analizador.
- Soportan tipos de datos, lo cual facilita describir el contenido permitido en un documento, validar datos, trabajar con datos de bases de datos, definir restricciones y formatos en los datos, y convertir datos entre distintos tipos.
- Soportan espacios de nombres

Documento XML Simple:

```

<?xml version="1.0"?>
<note>
  <to>Juan</to>
  <from>Jose</from>
  <heading>Recordatorio</heading>
  <body>No te olvides de la reunión!</body>
</note>

```

Esquema XML que define los elementos del documento anterior:

```

<?xml version="1.0"?>
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
targetNamespace="http://www.ejemplo.com"
xmlns="http://www.ejemplo.com"
elementFormDefault="Qualified">

  <xs:element name="note">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element name="to" type="xs:string"/>
        <xs:element name="from" type="xs:string"/>
        <xs:element name="heading" type="xs:string"/>
        <xs:element name="body" type="xs:string"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
</xs:schema>

```

Si se agrega una referencia al esquema XML en el ejemplo de la nota:

```

<?xml version="1.0"?>
<note>
  xmlns="http://www.ejemplo.com"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema_instance"
  xsi:schemaLocation="http://www.ejemplo.com nota.xsd"
  <to>Juan</to>
  <from>Jose</from>
  <heading>Recordatorio</heading>
  <body>No te olvides de la reunión!</body>

```

</note>

II.3. Tecnologías estandarizadas para la Web Semántica

Se consideran tecnologías estandarizadas o establecidas a aquellas que fueron adoptadas como Especificación o Recomendación⁶ por el W3C. [48] [49]

II.3.1. RDF

Resource Description Framework (RDF) es un lenguaje para especificar metadatos que, a diferencia de XML, sirve para modelar datos. RDF facilita el intercambio de información en páginas web entre aplicaciones, brindando una infraestructura que soporte actividades de metadatos. [7]

El lenguaje RDF está comprendido en las recomendaciones del W3C:

- Primer: define a RDF como un lenguaje para referenciar la información de los recursos de la World Wide Web. RDF Primer ofrece los conocimientos básicos necesarios para usar RDF, introduce los conceptos básicos y describe su sintaxis en XML.
- Concepts and Abstract Syntax: define la sintaxis abstracta en la que se basa RDF y explica la utilidad de vincular una sintaxis concreta a una semántica formal.
- Syntax Specification: define la sintaxis XML para RDF en los términos de Namespaces en XML, el XML Information Set y XML Base.
- Semantics: especifica una semántica precisa y brinda un sistema de reglas de inferencia para RDF y RDF Schema.
- Vocabulary (Schema): indica el modo de usar RDF para describir vocabularios RDF.

⁶ Recomendación W3C: publicación del W3C que define una tecnología Web y que alcanza la categoría de estándar Web luego de un proceso que promueve el consenso, imparcialidad, calidad entre los miembros del W3C, su director, y el público. [<http://www.w3.org/standards/faq>]

- Test Cases: describe el RDF Test Cases ofrecido por el RDF Core Working Group.

RDF está orientado para representar metadatos sobre recursos web, como por ejemplo el título, autor, modificaciones de los datos del documento web, y otros. También se utiliza para representar información sobre cosas que pueden identificarse en la Web pero que no pueden ser recuperadas directamente de la misma.

RDF es de suma utilidad en casos en que la información necesita ser procesada y leída por máquinas, más que por humanos, ya que provee un espacio común de trabajo para expresar dicha información e intercambiarla entre aplicaciones distintas mediante “parsers” o analizadores RDF.

RDF se basa en el concepto de identificar los recursos en la Web haciendo uso de los Uniform Resource Identifiers (URIs), y describiendo los recursos mediante propiedades simples y valores. Una descripción RDF es un conjunto de proposiciones simples (o sentencias), donde cada una está compuesta de tres elementos: un sujeto, un predicado y un objeto. En RDF las sentencias, además de poder ser representadas en forma de tripletas compuestas por los tres elementos antes mencionados, es posible representarlas en forma de grafos de nodos y arcos, donde los primeros se utilizan para representar el sujeto y objeto de cada tripleta, y los arcos los predicados.

El siguiente es un ejemplo extraído de la especificación Primer RDF.

En el ejemplo, se utiliza URIs para identificar:

- Un individuo: Eric Miller
- Clases de cosas: por ejemplo Person
- Propiedades de esas cosas: por ejemplo mailbox
- Valores de esas propiedades: para el caso de mailbox, el valor es `mailto:em@w3.org`

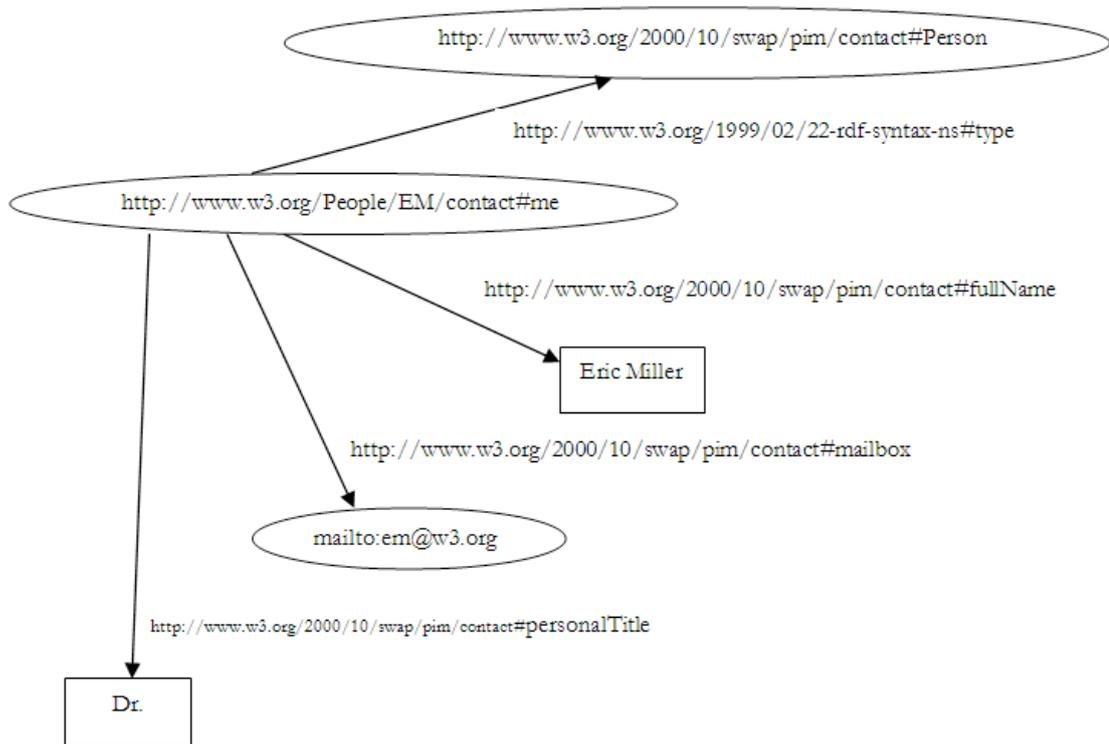


Figura 3. Grafo RDF [58]

RDF brinda además una sintaxis en XML para almacenar y presentar estos grafos. El ejemplo anterior en XML es:

```
<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:contact="http://www.w3.org/2000/10/swap/pim/contact#"
  >
  <contact:Person rdf:about="
    http://www.w3.org/People/EM/contact#me">
    <contact:fullName>Eric Miller</contact:fullName>
    <contact:mailbox rdf:resource=mailto:em@w3.org/ >
    <contact:personalTitle>Dr.</contact:personalTitle>
  </contact:Person>
</rdf:RDF>
```

El modelo de datos RDF se basa en tres elementos principales:

- Recursos: son todas las cosas descritas por expresiones RDF, y se designan siempre mediante URIs
- Propiedades: características, atributos o relaciones que permiten describir un recurso. Cada una tiene su significado específico, valores posibles, tipos de recursos que describen y relaciones entre propiedades.
- Declaraciones: para un recurso específico, se indica el valor de una propiedad determinada. Se compone de sujeto, predicado y objeto (o valor de la propiedad, que puede ser otro recurso). Ejemplo de las partes de una declaración:
 - Sujeto: <http://www.midominio.com.ar/index.html>
 - Predicado: “creator”
 - Objeto: “Javier Juárez”

Para que este tipo de declaraciones sea procesable por máquinas, se necesita: un sistema de identificadores para especificar dentro de una declaración cuál es el sujeto, el predicado y el objeto, sin que pueda ser confundido por otro similar; y, un lenguaje que pueda ser procesado por las máquinas para representar las declaraciones y que permita el intercambio de información entre las mismas. Para el primero de los elementos necesarios, la Web cuenta con los URL, que mediante una cadena de caracteres identifica los recursos en la Web y permite localizarlos. Pero, como muchos datos en la Web no tienen URL, éste fue reemplazado por el localizador URI que es más preciso.

Los objetos declarados en sentencias RDF pueden ser del tipo referencias URI o valores constantes (literales) representados por cadenas de caracteres, pero estos últimos no pueden usarse como sujetos o predicados, sólo como objetos.

II.3.2. RDFS

Dado que RDF no brinda herramientas para definir las propiedades ni para establecer las relaciones entre estas propiedades y otros recursos, es necesaria la presencia de otro elemento, RDF Schema (RDFS).

RDF Schema (Esquema RDF) es una extensión semántica de RDF. Define una especie de meta-clases y meta-propiedades que pueden ser utilizadas para describir clases, propiedades y otros recursos. Provee mecanismos para describir grupos de recursos relacionados y las relaciones entre esos recursos. [8]

Además de las propiedades de un recurso, un esquema RDF define los tipos de recursos que se describirán. Pero es necesario aclarar que RDFS no especifica un vocabulario determinado para nombrar elementos, como por ejemplo “creador” ó “título”, sino que facilita los pautas para declarar tales elementos, definir las clases de recursos que pueden utilizarlos, las combinaciones de clases y relaciones, y validar las restricciones.

Los recursos pueden ser divididos en lo que se llama *clases*. A los miembros de las clases se los denomina *instancias*. A su vez, las clases son recursos. Frecuentemente se las identifica con referencias URI y se los describe usando propiedades RDF. Por ejemplo, la propiedad `rdf:type` puede aplicarse para establecer que un recurso es una instancia de una clase. RDF diferencia entre una clase y un conjunto de instancias, ya que dos clases pueden tener el mismo conjunto de instancias pero ser diferentes clases.

A continuación se mencionarán las principales clases y propiedades definidas por el Esquema RDF.

Clases

- `rdfs:Resource`. Se llama recurso a todo aquello descrito por RDF. Esta clase es una instancia de `rdfs:Class`.
- `rdfs:Class`. Es la clase de recursos que son clases RDF. Es una instancia de sí misma.
- `rdfs:Literal`. Es la clase de los valores literales tales como números enteros y cadenas.
- `rdfs:Datatype`. Identifica a la clase de los tipos de datos.
- `rdf:Property`. Todas las propiedades RDF son instancias de esta clase.

Propiedades

A una propiedad se la define como la relación entre recursos sujetos y recursos objetos. Las propiedades de RDF son:

- `rdfs:SubpropertyOf`. Cuando una propiedad es subpropiedad de otra, todos los recursos relacionados por la primera estarán también relacionados por la segunda.
- `rdfs:Range`. Rango se denomina a los valores que puede tener una propiedad. Esta propiedad se usa para indicar que los valores de una propiedad son instancias de una ó más clases.
- `rdfs:Domain`. El dominio es el conjunto de los recursos sujetos a los cuales se aplica una propiedad. Con `rdfs:Domain` se indica que cualquier recurso que tiene una propiedad dada, es instancia de una ó más clases.
- `rdf:type`. Con esta propiedad se establece que un recurso es una instancia de una clase.
- `rdfs:subClassOf`. Se hace uso de esta propiedad para indicar que todas las instancias de una clase son instancias de otra.
- `rdfs:label`. Se utiliza para mostrar el nombre de un recurso en una versión legible por el hombre.
- `rdfs:comment`. Puede utilizarse para dar una descripción de un recurso.

En la figura siguiente se pueden visualizar las clases mencionadas en forma de jerarquías.

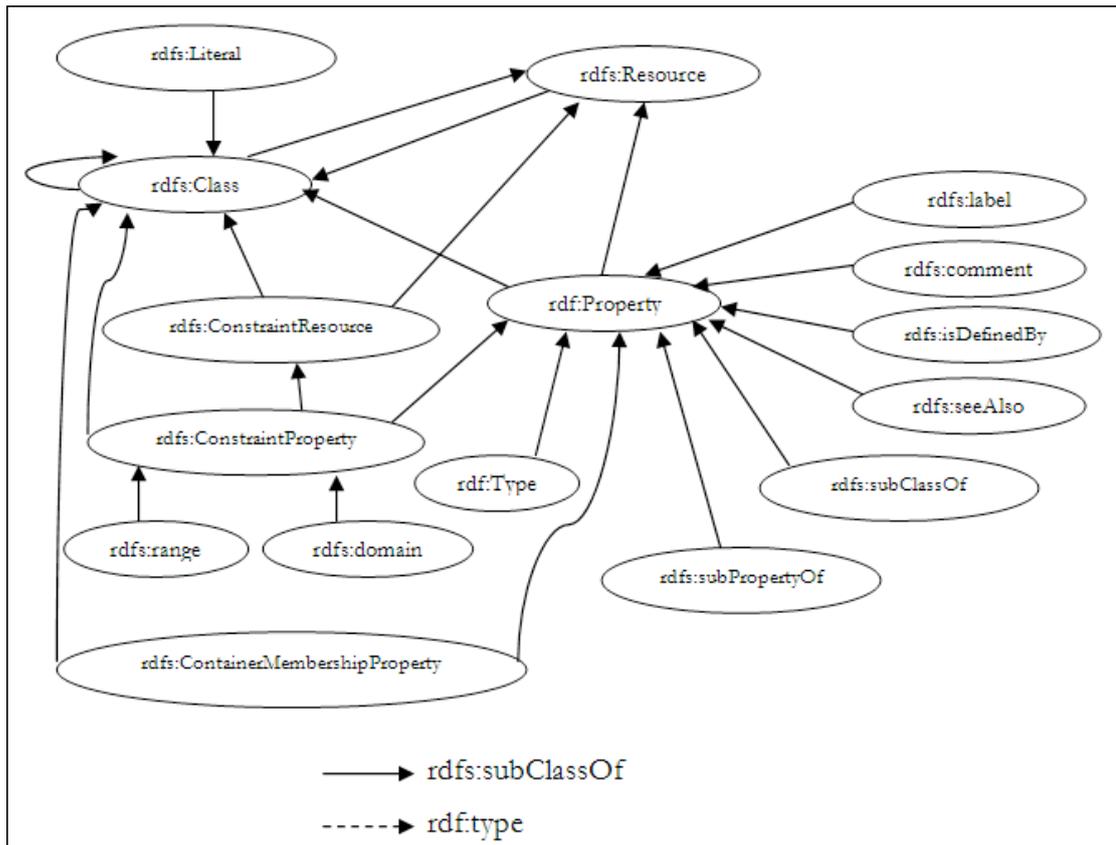


Figura 4. Jerarquía de clases para el Esquema RDF [7]

Los vocabularios RDF pueden describir relaciones entre ítems de vocabularios desarrollados independientemente. Es decir, es posible crear nuevas propiedades cuyo dominio y rango tengan valores que sean clases definidas en otro espacio de nombres, ya que pueden identificarse mediante referencias URI.

Contenedores RDF

Un contenedor es un recurso que contiene cosas. Son utilizados para mantener listas de recursos o literales. Existen tres tipos de contenedores:

- Bag (`rdf:Bag`): contiene un grupo desordenado de recursos o literales, permitiendo elementos duplicados.
- Sequence (`rdf:Seq`): representa un grupo de recursos o literales con un orden específico, permitiendo valores duplicados.
- Alternative (`rdf:Alt`): consiste en un grupo de recursos o literales que son alternativos para un único valor de una propiedad.

Cuando se necesita definir un recurso como perteneciente a alguno de estos grupos de contenedores, se utiliza la propiedad `rdf:type`, donde su valor es uno de los recursos predefinidos: `rdf:Bag`, `rdf:Seq`, o `rdf:Alt`.

La relación entre RDF y RDFS son representados gráficamente en la figura 5. En ella se muestra una jerarquía de clases de recursos en RDFS, indicando la relación entre las mismas. Mientras que en RDF se representan las instancias de los recursos.

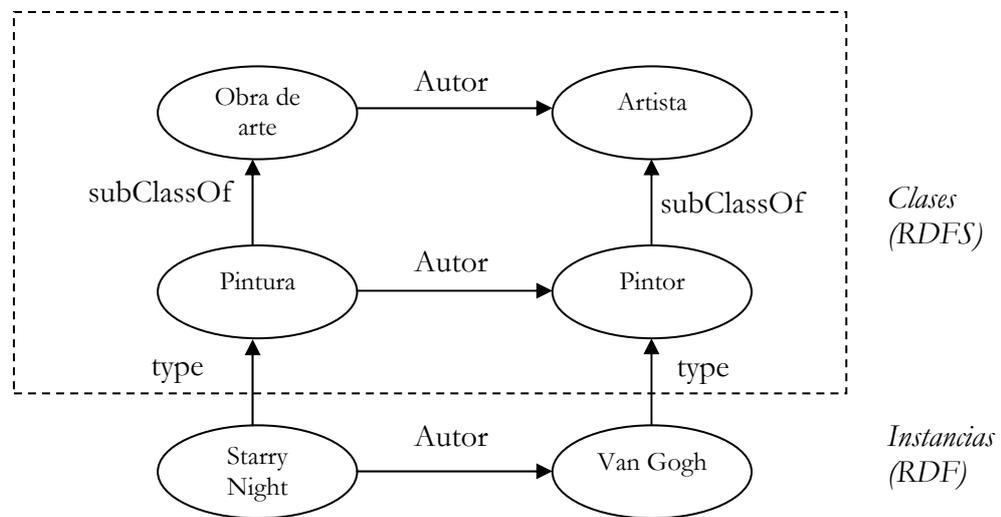


Figura 5. RDF y RDF Schema. [9]

II.3.3. Ontologías

II.3.3.1. Definiciones

Filosóficamente, el término *ontología* indica una teoría específica sobre la naturaleza del ser o de lo que existe. [16] Además, puede definirse como “conocimiento del ser” (del griego onto: ser, y logos: conocimiento).

En el campo de la Inteligencia Artificial, “lo que existe es aquello que puede ser representado”. Cuando la representación del conocimiento que se tiene de un dominio se hace en un formalismo declarativo, el conjunto de objetos que puede ser representado se

denomina universo de discusión. Dicho conjunto, y la descripción de relaciones entre los objetos son reflejadas en un vocabulario representacional con el cual un programa basado en conocimiento representa conocimiento. [19]

Una de las definiciones más conocidas es la expuesta por Gruber:

“Las ontologías se definen como una especificación explícita de una conceptualización”. [17]

Esta definición fue extendida por Studer, Benjamins y Fensel, definiéndola así:

“Una especificación explícita y formal de una conceptualización compartida”. [18]

Una “conceptualización” indica que es un modelo abstracto de algún fenómeno del mundo identificando los conceptos relevantes del mismo. Con “explícita” se determina que los tipos de conceptos usados y las restricciones en su uso están explícitamente definidos. “Formal” se refiere al hecho que la ontología debe ser legible por las máquinas, excluyendo entonces el lenguaje natural. Por último, “compartida” expresa la noción de que la ontología representa conocimiento consensuado, es decir, que no es particular de un individuo, sino aceptado por un grupo. En definitiva, una ontología proporciona un vocabulario de términos y relaciones con el cuál puede ser modelado un dominio. [18]

Otra definición de Gruber, dentro del campo de las ciencias de la computación e información, sostiene que una ontología define un conjunto de primitivas representacionales con las cuales puede modelarse un dominio de conocimiento o discusión. Generalmente, estas primitivas son clases, atributos y relaciones. Las declaraciones de las primitivas contienen información acerca de su significado y restricciones para su aplicación lógica. En el ámbito de los sistemas de bases de datos, una ontología puede apreciarse como un nivel de abstracción de modelos de datos, análogo a modelos relacionales o jerárquicos, pero mejorado para modelar conocimiento acerca de individuos, sus atributos, y las relaciones con otros individuos. [20]

Las ontologías son parte de la arquitectura de la Web Semántica, y son utilizadas para especificar vocabularios conceptuales estándares que permitan intercambiar datos entre sistemas, facilitar servicios de consultas, publicar bases de conocimiento que sean

reutilizables y brindar servicios que faciliten la interoperabilidad entre varios sistemas y bases de datos heterogéneos. [20]

También se las define como vocabularios formalizados de términos que generalmente abarcan un dominio específico y son compartidas por una comunidad de usuarios. Consisten en especificaciones de términos a través de descripciones de sus relaciones con otros términos de la ontología. [44]

II.3.3.2. Componentes de las ontologías

Mientras que Gruber menciona las clases, atributos y relaciones como componentes de una ontología [20], una descripción más completa enumera los siguientes elementos en los cuales se basa una ontología para representar el conocimiento [54]:

- **Conceptos:** son las ideas básicas que se quieren formalizar. Pueden ser clases de objetos, métodos, estrategias, procesos de razonamiento, y otros.
- **Relaciones:** son las que representan la interacción y los vínculos entre los conceptos del dominio en cuestión.
- **Funciones:** son un tipo determinado de relación donde, mediante el cálculo de una función que considera varios elementos de la ontología, se identifica un elemento.
- **Instancias:** son objetos determinados de un concepto.
- **Axiomas:** son teoremas definidos en base a las relaciones que deben respetar los elementos de la ontología. Junto a la herencia de conceptos, permiten inferir conocimiento que no esté declarado explícitamente en la taxonomía de conceptos.

II.3.3.3. Tipos de ontologías

Diversos autores han propuesto clasificaciones de ontologías según distintas características de las mismas. Van Heijst presenta dos tipos de clasificaciones, la primera en

base a la cantidad y tipo de estructura de la conceptualización, y la segunda en base al sujeto de la conceptualización [22]:

En la primera clasificación se distinguen tres tipos de ontologías:

- Terminológicas: establecen los términos que son utilizados para representar conocimiento en un dominio determinado.
- De Información: especifican la estructura de la base de datos; es decir, proveen un marco de trabajo que estandariza el almacenamiento de la información.
- De modelado del conocimiento: declaran conceptualizaciones del conocimiento. Comparadas con el tipo anterior, tienen una estructura interna más valiosa y, generalmente, están delimitadas al uso particular del conocimiento que describen.

La segunda clasificación, establece los siguientes tipos de ontologías:

- Ontologías de aplicación: poseen todas las definiciones que se requieren para modelar el conocimiento utilizado por una aplicación determinada. Generalmente este tipo de ontologías son una mezcla de conceptos tomados de ontologías de dominio y genéricas.
- Ontologías de dominio: describen conceptualizaciones que son específicas de un dominio particular. Debe mencionarse que las metodologías actuales de la ingeniería del conocimiento distinguen entre ontologías de dominio y conocimiento del dominio. El conocimiento del dominio describe situaciones reales en un dominio determinado, mientras que la ontología establece restricciones en la estructura y contenidos del conocimiento del dominio.
- Ontologías genéricas: son similares a las de dominio, pero a diferencia de aquellas, definen conceptos genéricos que son independientes de un dominio particular.
- Ontologías de representación: explican conceptualizaciones que forman la base de los formalismos de representación del conocimiento. Las ontologías de dominio y las genéricas son descritas utilizando primitivas provistas por las ontologías de representación.

II.3.3.4. Creación de Ontologías

Si bien no hay una metodología estándar a seguir en la creación de ontologías, se puede comenzar mencionando tres reglas en la que McGuinness y Noy hacen hincapié a la hora de diseñar una ontología: [23]

- No hay una manera correcta de modelar un dominio, siempre hay alternativas. La mejor solución depende de la aplicación que se tenga en mente.
- El desarrollo de la ontología es un proceso iterativo.
- Los conceptos deben ser cercanos a los objetos y relaciones en el dominio de interés.

Debe recordarse que la ontología es un modelo de la realidad del mundo y los conceptos en la ontología deben reflejar dicha realidad.

La siguiente serie de pasos conforman una posible guía en la creación de ontologías. [23]

Paso 1. Determinar el dominio y alcance de la ontología.

La definición de este primer paso se logra respondiendo algunas preguntas como las siguientes:

- ¿Cuál es el dominio que abarcará la ontología?
- ¿Cuál será el uso que se le dará a la ontología?
- ¿Qué tipo de consultas podrá satisfacer la información de la ontología?
- ¿Quién usará y dará mantenimiento a la ontología?

Las respuestas a estas preguntas pueden variar durante el proceso de diseño, pero ayudarán a limitar el alcance del modelo.

Paso 2. Considerar la reutilización de ontologías existentes.

Muchas veces, la reutilización de ontologías ya existentes puede ser un requerimiento si el sistema debe interactuar con otras aplicaciones que trabajan con ontologías particulares o vocabularios controlados.

Existen, en la web, librerías de ontologías reutilizables, como por ejemplo Ontolingua o DAML.

Paso 3. Enumerar los términos importantes en la ontología.

Es de suma utilidad listar todos los ítems que se desea explicar o acerca de los cuales se quiere hacer enunciados, como así también definir qué propiedades tienen.

Paso 4. Definir las clases y las jerarquías de clases.

Hay varios enfoques posibles en el desarrollo de jerarquía de clases:

- Proceso Top-Down. Comienza con la definición de los conceptos más generales en el dominio y la posterior especialización de los conceptos.
- Proceso Bottom-Up. Comienza con la declaración de las clases más específicas y sigue con el agrupamiento de estas clases en conceptos más generales.
- Proceso de desarrollo combinado. Es una combinación de los enfoques top-down y bottom-up. Se definen primero los conceptos más sobresalientes y luego se los generaliza y especifica apropiadamente. Usualmente este enfoque resulta más fácil para los desarrolladores de ontologías, dado que los conceptos del nivel medio tienden a ser los más descriptivos en el dominio.

La elección de uno de estos tres enfoques depende de la visión personal que se tenga del dominio.

Para definir una clase, se comienza seleccionando los términos que describen objetos cuya existencia independiente sea mayor que los términos que describen estos objetos. Luego, las clases se organizan en una taxonomía jerárquica preguntando si por ser instancia de una clase, el objeto será necesariamente una instancia de alguna otra clase.

Paso 5. Definir las propiedades de las clases y slots.

Una vez definidas algunas de las clases, debe describirse la estructura de conceptos interna. La mayoría de los términos que quedan, luego de seleccionar las clases, probablemente sean las propiedades de esas clases.

Para cada propiedad en la lista, debe determinarse cuáles clases describe. Estas propiedades se volverán slots (muescas o ranuras) adheridos a las clases.

Paso 6. Definir las facetas de los slots.

Los slots pueden tener diferentes facetas que describen tipo de valor, valores permitidos, número de valores (cardinalidad), y otras características. Las más comunes son:

- Cardinalidad. Define cuántos valores puede tener un slot. Algunos sistemas distinguen entre cardinalidad simple y múltiple. También, hay sistemas que permiten indicar una cardinalidad mínima y otra máxima.
- Tipo de valor. Tipos de valores que puede tener un slot son: texto, número, booleano, enumerado (lista de valores permitidos), tipo instancias (lista de clases permitidas desde donde proviene la instancia).
- Dominio y rango. Las clases permitidas para slots del tipo instancias son llamadas rango del slot. Las clases para las cuales un slot adherido o clases cuya propiedad describe un slot, son llamadas dominio del slot.

Paso 7. Crear instancias.

El último paso consiste en crear instancias individuales de las clases de jerarquía. Definir una instancia individual de una clase requiere elegir la clase, crear una instancia individual y completar los valores del slot.

Otros autores proponen metodologías para el desarrollo de ontologías, que además abarcan tareas relacionadas al proyecto de creación y actividades integrales que consideran necesarias para un buen desarrollo:

- Methontology [24]: plantea el desarrollo de ontologías mediante las tareas de planificación, especificación, adquisición de conocimiento, conceptualización, formalización, integración, implementación, evaluación, documentación y mantenimiento de las ontologías.
- On-To-Knowledge [25]: propone las fases de estudio de factibilidad, fase inicial o kickoff, refinamiento, evaluación y mantenimiento. Luego, esta metodología sería revisada y modificada reemplazando la fase de mantenimiento por las de aplicación-evolución. [o10b]
- Cyc KB [26]: este método consiste en la codificación de información ingresada manualmente y la posterior adición de nueva información mediante el uso de herramientas de soporte y formalización, como así también procesos de inferencia.
- Uschold y King [27]: propone identificar el propósito para luego construir, evaluar y documentar las ontologías.
- Grüninger y Fox [27]: se basa en la identificación de escenarios, formulación de preguntas competentes, extracción de conceptos y relaciones relevantes, y formalización.
- Kactus [27]: método que consiste en tomar una base de conocimiento y a partir de ésta, determinar y conceptualizar cuáles son los términos y relaciones más relevantes.
- Sensus [27]: representa a las ontologías construidas a partir de una rama de una ontología más general y que es especializada para obtener una ontología nueva. En resumen, consiste en crear ontologías de dominio específico a partir de una más general.

Se puede percibir que hay numerosas metodologías, las cuales adoptan diversos enfoques o puntos de vista para plantear el desarrollo de ontologías.

Generalizando, pueden considerarse las siguientes fases como guía para la creación de ontologías [28]:

- Especificación: para determinar el propósito y alcance.
- Adquisición de conocimiento: de distintas fuentes y a través de diversos métodos.

- **Conceptualización:** definir el conjunto de conceptos y sus relaciones.
- **Implementación:** formalizar los conceptos y relaciones en un lenguaje de representación de ontologías.
- **Evaluación:** determinar si cumple con los requisitos y si satisface el propósito para el cual fue creada.
- **Documentación:** para permitir su futura reutilización.

II.3.3.5. Lenguajes para la creación de ontologías

Los lenguajes de especificación de ontologías pueden ser clasificados en dos grupos cronológicos: los lenguajes tradicionales utilizados en los sistemas de representación de conocimiento, y aquellos que surgieron luego, basados en entornos web.

En el primer grupo, pueden distinguirse los lenguajes basados en frames generalmente asociados a Lisp (CLOS⁷ o Scheme⁸), lógica descriptiva, predicados de primer orden y segundo orden, o los orientados a objeto. Entre los más distintivos de este grupo se encuentran los siguientes:

- **OKBC Protocol [29].** No es un lenguaje, sino un protocolo basado en frames. Es utilizado como complemento de lenguajes de representación de conocimiento, dado que hace de interfaz para brindar acceso a diferentes bases de conocimiento.
- **OCML [30].** Es un lenguaje basado en frames que permite declarar relaciones, funciones, reglas, clases e instancias.
- **Ontolingua [21].** Es un sistema para describir ontologías en una forma compatible con múltiples lenguajes de representación de conocimiento. Permite la definición de clases, relaciones, funciones, objetos y teorías.
- **FLogic [32].** Si bien la aplicación de este lenguaje está muy vinculada a las bases de datos orientadas a objetos, también se destaca en el área de los lenguajes basados en frames.

⁷ Common Lisp Object System: es un lenguaje de programación dinámico dirigido a objetos.

⁸ Scheme: primer dialecto de Lisp que usó ámbito estático en lugar de dinámico.

- LOOM [33]. Es un lenguaje (y un entorno) para construir aplicaciones inteligentes. Basado en lógica descriptiva, permite definir objetos y relaciones. Fue reemplazado por su sucesor, PowerLoom.

El segundo grupo, se diferencia del anterior en que los lenguajes de especificación de ontologías fueron desarrollados orientados para ser utilizados en la Web. Entre los principales lenguajes de marcado ontológico de este grupo, generalmente asociados a XML, se encuentran:

- XOL (XML-Based Ontology Exchange Language). Es un lenguaje para establecer un formato de intercambio de ontologías entre distintos sistemas de bases de datos, herramientas de desarrollo de ontologías, o aplicaciones. [34]
- SHOE (Simple HTML Ontology Extensions). Es un lenguaje de representación del conocimiento basado en HTML, que agrega las etiquetas necesarias para incluir datos semánticos en las páginas web.[31]
- RDF y RDFS. RDF establece la sintaxis y estructura que permite la descripción de metadatos y permite que el significado sea asociado con los datos a través de RDF Schema, el cual facilita la definición de ontologías específicas de dominio. RDF basa su modelo en Recursos, Propiedades y Declaraciones. Mientras que RDFS permite la definición de jerarquías de clases de objetos y propiedades y permite la creación de restricciones, acercándose así al concepto de ontología ya que se cuenta con relaciones diseñadas para definir la jerarquía de la taxonomía de conceptos que define un conocimiento. [35] [36]
- OIL (Ontology Interchange Language). Consistió en una propuesta que permitiese la especificación de ontologías y sirviese como lenguaje de intercambio de las mismas. Fue desarrollado dentro del proyecto OnToKnowledge. [37]
- DAML+OIL. Del programa DAML (DARPA Agent Markup Language) surgió el lenguaje DAML-ONT que permitía realizar descripciones de recursos de una manera más sofisticada de lo que permitían RDF y RDFS. Luego, favoreciéndose de los sistemas de clasificación basados en frames de OIL, surgió DAML-OIL, aunque acercándose más a los lenguajes basados en lógica descriptiva. [38]

- OWL (Ontology Web Language). OWL facilita un mejor mecanismo para interpretar contenido Web que los mecanismos admitidos por XML, RDF, y esquema RDF, proporcionando vocabulario adicional junto con una semántica formal. OWL añade más vocabulario para describir propiedades y clases: relaciones entre clases (por ejemplo, desunión), cardinalidad (por ejemplo, "uno exacto"), igualdad, más tipos de propiedades, características de propiedades (por ejemplo, simetría), y clases enumeradas. [39]

Un resumen con las características de cada lenguaje del segundo grupo puede apreciarse en la siguiente tabla. Aunque XML, XMLS y RDF se muestran por separado, en ontologías generalmente se utilizan en conjunto.

	XML / DTD	XML SCHEM A	RDF / RDFS	DAML+ OIL	RDF / RDFS (2002)	OWL
Listas limitadas				X	X	X
Restricciones de cardinalidad	X	X		X		X
Expresiones de clases				X		X
Datatypes		X		X	X	X
Clases definidas				X		X
Enumeraciones	X	X		X		X
Equivalencias				X		X
Extensibilidad			X	X	X	X
Semántica formal				X	X	X
Herencia			X	X	X	X
Inferencia				X		X
Restricciones locales				X		X
Restricciones cualificadas				X		
Reificación			X	X	X	X

Comparativa entre lenguajes de especificación de ontologías. [40]

II.3.3.6. OWL y OWL 2

El lenguaje OWL, mencionado anteriormente, es el estándar propuesto para implementar ontologías en la web y definir axiomas en la capa lógica, dado que permite describir la semántica del conocimiento de una forma procesable por las máquinas. Junto con la especificación del lenguaje se provee una especificación formal de su semántica, de manera que se puede dar soporte de razonamiento sobre la capa ontológica a través de una traducción de OWL en lógica de predicado o lógica descriptiva. [43] [39]

OWL incluye tres sub-lenguajes, cada uno con un poder expresivo mayor que el anterior:

- OWL Lite: diseñado para usuarios que necesitan principalmente una clasificación jerárquica y restricciones simples. Además tiene una complejidad formal menor que los dos sub-lenguajes siguientes.
- OWL DL: está pensado para quienes necesitan la máxima expresividad, garantizando que todas las conclusiones sean computables y que puedan ser resueltas en un tiempo finito. Incluye todas las construcciones del lenguaje OWL, pero únicamente pueden ser utilizadas bajo ciertas restricciones. Se lo denomina OWL DL por su correspondencia con la Lógica Descriptiva, que compone la base formal de OWL.
- OWL Full: está dirigido a usuario que desean máxima expresividad y libertad sintáctica de RDF sin garantías computacionales. Permite definir ontologías que aumenten el significado del vocabulario preestablecido (RDF u OWL). Es poco probable que cualquier software de razonamiento logre alcanzar un razonamiento completo para cada característica de OWL Full.

Recientemente, el lenguaje de ontologías web OWL 2 ha alcanzado la categoría de Recomendación por parte del W3C. El lenguaje OWL 2 está destinado a la Web Semántica, con significado definido formalmente. Tiene como principal característica la posibilidad de otorgar clases, propiedades, individuos y valores de datos, todo almacenado como documentos de la Web Semántica. Las ontologías definidas con este lenguaje pueden ser usadas con información escrita en RDF, y son exportadas principalmente como documentos RDF. [44]

OWL 2 es una extensión de OWL. Al igual que OWL 1, su predecesor, OWL 2 está diseñado para facilitar el desarrollo de ontologías y compartirlas a través de la Web, con la ventaja de hacer el contenido Web accesible para las máquinas.

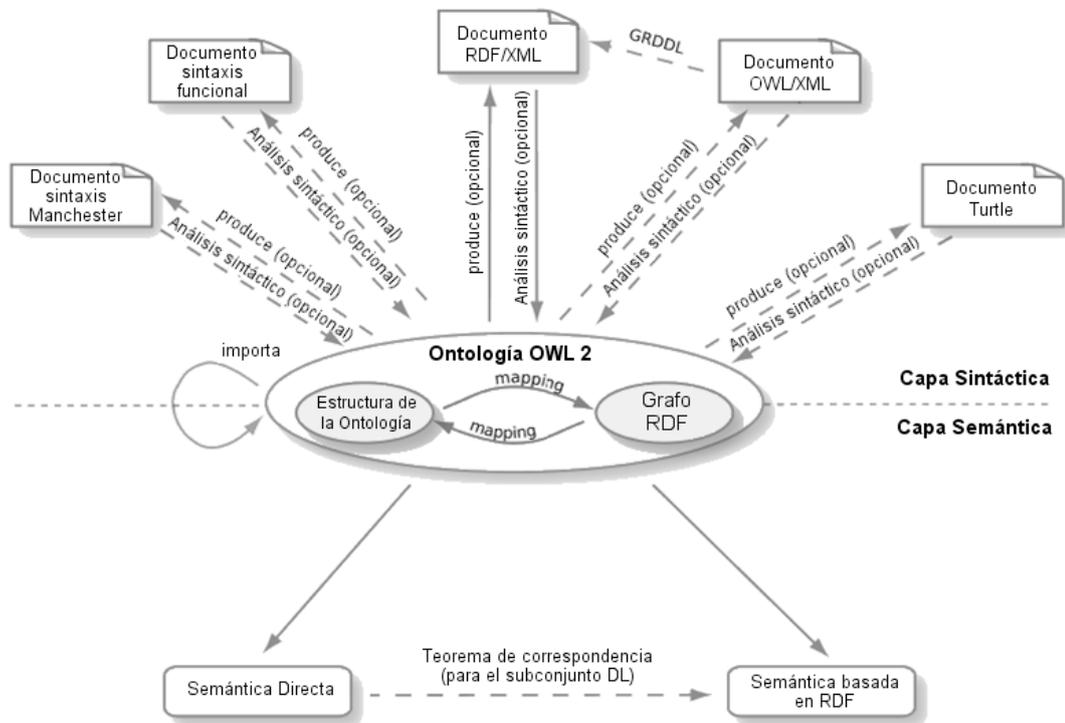


Figura 6. Estructura de OWL 2. [44]

La figura muestra un panorama del lenguaje OWL 2. El centro de la misma representa la noción de una ontología, que puede ser tanto una estructura abstracta o un grafo RDF. Arriba, diversas sintaxis concretas pueden utilizarse para serializar e intercambiar ontologías. Abajo, existen dos especificaciones semánticas que definen el significado de las ontologías OWL 2. Un usuario determinado de OWL 2 necesitará tan solo una sintaxis y una semántica, con lo cual el esquema se simplifica, con sólo una sintaxis arriba, su única semántica debajo, y generalmente sin la necesidad de ver el contenido de la elipse central.

OWL 2 ofrece tres subconjuntos sintácticos, llamados sub-lenguajes, que a su vez ofrecen ventajas en determinados escenarios de aplicación. Cada uno consiste en una restricción sintáctica de la Especificación Estructural de OWL 2, y deja de lado diversos

aspectos del poder expresivo de OWL para ofrecer a cambio otros beneficios en la implementación.

Los tres sub-lenguajes son:

- OWL 2 EL: habilita algoritmos de tiempo polinomial para todas las tareas de razonamiento estándares. Su aplicación, se orienta principalmente donde se necesitan ontologías muy grandes, y donde el poder de expresividad puede ser relegado para ganar performance.
- OWL 2 QL: permite realizar consultas conjuntivas para ser respondidas en un LogSpace usando tecnologías de bases de datos relacionales. Su utilización se inclina a aplicaciones donde las ontologías son relativamente livianas y donde es útil acceder a los datos a través de consultas relacionales, por ejemplo SQL.
- OWL 2 RL: permite la implementación de algoritmos con tiempo de razonamiento polinomial mediante el uso de tecnologías de bases de datos de reglas extendidas, operando directamente sobre triplas RDF. Principalmente, su utilización es para aplicaciones donde las ontologías son livianas y donde es necesario o de mayor utilidad manipular los datos directamente en forma de triplas RDF.

Cualquier ontología desarrollada con alguno de los sub-lenguajes mencionados, es también una ontología OWL 2 y puede ser interpretada usando tanto Semántica Directa como Semántica basada en RDF. Cuando se utiliza OWL 2 RL, una implementación basada en reglas puede operar sobre triplas RDF en forma directa y puede ser aplicado a un grafo RDF arbitrario, por ejemplo cualquier ontología OWL 2. En este caso, el razonamiento siempre computará sólo las respuestas correctas a la consulta, pero puede ocurrir que no sea completo, es decir, no se garantiza que todas las respuestas correctas sean computadas.

Relación con OWL 1

El rol de RDF/XML, el de otras sintaxis, y las relaciones entre semánticas directas y basadas en RDF no poseen cambio alguno respecto a OWL 1. Todas las ontologías OWL 1 son válidas en OWL 2, con inferencias idénticas en todos los casos prácticos.

OWL 2 incorpora nuevas funcionalidades respecto a su predecesor. Algunas de las nuevas características son sintácticas, mientras que otras ofrecen nueva expresividad. Entre ellas se incluyen: claves, cadenas de propiedades, tipos de datos más ricos, rangos de datos, restricciones de cardinalidad, propiedades asimétricas, reflexivas y disjuntas.

II.3.4. SPARQL

SPARQL es un lenguaje de consulta para RDF y un protocolo de acceso a datos. No hace mucho tiempo que ha alcanzado la categoría de recomendación por parte del W3C. SPARQL puede ser utilizado para realizar consultas desde distintos orígenes donde los datos estén almacenados como RDF o donde puedan verse como RDF gracias a algún intermediario. Los resultados de las consultas pueden ser grafos RDF o conjuntos de resultados. [53]

Así como RDF se basa en la tripla sujeto-predicado-objeto, SPARQL se basa también en un patrón triple similar. A continuación, un ejemplo sencillo de la utilización de este lenguaje:

```
PREFIX table: <http://www.daml.org/2003/01/periodictable/PeriodicTable#>
SELECT ?name
FROM <http://www.daml.org/2003/01/periodictable/PeriodicTable.owl>
WHERE { ?element table:name ?name. }
```

La sentencia PREFIX permite asociar una etiqueta con una URI determinada. Es el equivalente a la declaración namespaces de XML. Luego, esta etiqueta puede ser utilizada dentro de la consulta para referenciar la URI indicada. SELECT, cumple la misma función que en el lenguaje SQL, es decir, para definir los ítems que serán devueltos por la consulta. FROM, indicada el origen de datos RDF de donde se extraen los resultados. Por último, WHERE, para filtrar los resultados utilizando la sintaxis {sujeto predicado objeto}. Además, existen otras cláusulas que pueden aplicarse, por ejemplo: DISTINCT, LIMIT, OFFSET y ORDER BY, que son similares a las de SQL. [54]

SPARQL tiene especificaciones que explican diferentes partes de su funcionalidad; en general, consiste en un lenguaje de consulta, un formato para las respuestas, y un medio para el transporte de consultas y respuestas [53]:

- SPARQL Query Language: Componente principal de SPARQL. Explica la sintaxis para la composición de sentencias y su concordancia.
- SPARQL Protocol for RDF: define el protocolo remoto para el uso de consultas SPARQL y recibir los resultados.
- SPARQL Query Results XML Format: define un formato de documento XML para representar los resultados de consultas SELECT y ASK de SPARQL.

SPARQL tiene cuatro formas de consulta:

- SELECT: devuelve todas las variables, o conjunto de ellas, que aparecen en el resultado de la consulta.
- CONSTRUCT: devuelve un grafo RDF construido sustituyendo variables en un conjunto de tripletas.
- ASK: retorna Si ó No indicando si el patrón de la consulta coincide o no.
- DESCRIBE: retorna un grafo RDF que representa los resultados encontrados.

II.4. Tecnologías aún no estandarizadas para la Web Semántica

A las tecnologías que ocupan las tres capas superiores en la arquitectura original de la Web Semántica, se las considera “emergentes” por estar aún en etapa de investigación. [48]

II.4.1. RIF (Rule Interchange Format)

Otro componente, aún no estandarizado para la Web Semántica y que fue incorporado a la última versión de la arquitectura en capas, es el Formato de Intercambio de Reglas (RIF), cuyo objetivo se centra en el intercambio de reglas entre distintos sistemas, principalmente en aquellos orientados a la web. El enfoque adquirido por quienes

desarrollan el RIF es construir una familia de lenguajes, llamados *dialectos*, con una sintaxis y semántica especificada cuidadosamente. El objetivo es que estos dialectos sean uniformes y extensibles. *Uniformes*, porque se espera que compartan tanto como sea posible en cuanto a semántica y sintaxis, con los sistemas ya existentes. *Extensibles*, porque debería ser posible definir nuevos dialectos RIF que se incorporaren como extensiones sintácticas a los ya existentes, añadiendo nuevos elementos acordes a nuevas funcionalidades. Luego, estos nuevos dialectos podrían convertirse en estándares. [50]

Los dialectos RIF en los cuales se ha puesto la atención se dividen en dos tipos: [50]

- Dialectos basados en lógica: incluyen lenguajes que utilizan algún tipo de lógica, como por ejemplo lógica de primer orden, ó aquellos empleados en lenguajes de programación lógica que no sean de primer orden.
- Dialectos reglas-con-acciones: son los que abarcan sistemas de producción de reglas y también los de reglas reactivas (provocan una acción ante un determinado evento).

II.4.2. Unificación Lógica

No existe una clara descripción de esta capa que pueda realizarse en base a las propuestas y presentaciones de Tim Berners-Lee. Sin embargo, observando las distintas versiones de la arquitectura presentadas al comienzo del capítulo, se supone que esta capa se utilizará como marco para realizar inferencias sobre la capa ontológica, deduciendo nuevas sentencias a partir de los datos escritos en las capas inferiores. [55]

En cambio, otros autores han hecho una descripción de esta capa y los elementos que deben actuar en ella. Tal es el caso de Peis, Herrera-Viedma y Morales-del-Castillo, quienes sostienen que la capa lógica establecerá el conjunto de inferencias que pueden realizarse a partir de un conjunto de datos. Las inferencias se realizarán mediante reglas en forma de implicaciones que pueden definirse usando lenguajes como RuleML (Rule Markup Language) o SWRL (Semantic Web Rule Language). [60]

II.4.3. Prueba

La capa de prueba pretende responder a los agentes, el interrogante de por qué ellos deben creer en los resultados. Para ello, la capa de prueba permite definir una infraestructura apropiada para que los agentes puedan constituir relaciones lógicas con otros agentes e intercambiar pruebas sobre deducciones conseguidas en una búsqueda. En la actualidad no hay ninguna tecnología recomendada por el W3C para esta capa, sin embargo existen intentos para desarrollar un lenguaje de prueba, como lo es el llamado PML (Proof Markup Language). [45] [46] [10]

El objetivo de un lenguaje de prueba es determinar la validez de una sentencia específica. Por lo general, consiste en una lista de ítems de inferencia que se han utilizado para llegar a la información en cuestión, y dónde además puede corroborarse la veracidad de dichos ítems. [47]

Quienes crean las sentencias o afirmaciones deberían proveer una prueba que sea verificable por una máquina. Así, no es necesario que el agente que lea la sentencia encuentre la prueba por sí solo, sino que únicamente debe verificar la prueba brindada por su creador.

II.4.4. Confianza

Una capa de seguridad que permita asignar niveles de fiabilidad a determinados recursos, de forma comprobable posteriormente por los agentes, para lo que se utilizarán firmas digitales y redes de confianza.

Las firmas digitales se definen como “bloques de datos cifrados que los agentes de software podrán utilizar para verificar que determinada información fue provista por una fuente fiable”. Al aplicar un algoritmo de cifrado sobre un documento, se obtiene un bloque de datos que representa un resumen del documento. La firma digital se obtiene mediante un sistema de criptografía de clave pública, basado en el uso de dos tipos de claves: pública y privada. Todo lo que se cifre mediante una clave pública puede descifrarse a través de su clave privada correspondiente y viceversa. [41]

Las ventajas que otorga la firma digital a los recursos, documentos o mensajes de la Web son principalmente:

- Identificación. Posibilidad de determinar la identidad del emisor o autor del recurso.
- Integridad. Facilidad para detectar la manipulación o alteración ilícita del recurso.

Confianza es un concepto que la mayoría de las personas pueden entender, pero es difícil representarlo con precisión en una computadora. Alguien puede comprobar quién es el autor de un documento, sin necesidad de confiar en nada de lo que el autor diga en dicho documento. Por eso, es importante separar dos conceptos utilizando los términos “certeza” y “credibilidad”, lo cual permite asociar correctamente un documento con su autor, y encontrar un nivel de credibilidad que debería asignársele al autor. En este caso, la confianza mediría cuando se dan ambas cualidades, o ninguna de las dos.

El hecho de representar el nivel de credibilidad entre dos personas a través de un número no es algo muy común o intuitivo. La credibilidad es más difícil de calcular cuando diferentes dominios de conocimiento están en juego. Alguien podría confiar en lo que una persona diga en un área de conocimiento, pero no en otra.

Los sistemas de confianza existentes pueden dividirse en dos categorías: aquellos basados en una solución criptográfica y los que confían en la puntuación humana. Tal vez, un sistema completo contendrá ambos componentes, criptografía para otorgar la seguridad y sistemas de puntuación para proveer la escala. [42]

La solución puede estar en el concepto de una Web de Confianza, que basa su funcionamiento en la confianza o fiabilidad entre usuarios y agentes de software en la red, definido como “el grado en que un agente considera un aserto como verdadero para un contexto determinado”. Cada usuario, identificado por un URI, expresaría su grado de confianza o desconfianza sobre otros individuos, que a su vez harían lo mismo sobre otros, lo que daría como resultado extensas e interoperables redes de confianza procesables por agentes inteligentes.

Los sistemas de puntuación humana no tienen, generalmente, ninguna ayuda criptográfica para asegurar el origen de las afirmaciones. La mayoría de este tipo de soluciones pretende construirse en redes sociales, área cuyo estudio ha empezado a despertar cierta atención. Un punto relevante es que existe una teoría matemática, la teoría de grafos, que permite estudiar el comportamiento de las redes y conocer sus propiedades. Llevar las relaciones sociales a un grafo habilita la posibilidad de realizar una serie de estudios de dónde extraer conclusiones. [41]

II.5. Agentes

Un agente es un ente que razona; pero, en el campo de la informática, se espera que además de razonar, el agente pueda adaptarse a los cambios y al entorno, disponer de ciertos controles que le brinden autonomía, que pueda persistir en el tiempo, y que pueda lograr ciertos objetivos. Un agente racional, es el que actúa intentado conseguir el mejor resultado o, cuando exista incertidumbre, un buen resultado posible. [16]

Berners-Lee sostiene que los agentes software o programas, que si bien no conforman un componente interno de la Web Semántica en el modelo original pero sí en la última versión de éste, son quienes harán posible explotar todo su potencial. Por esta razón, el real beneficio y poder de la Web Semántica dependerá de los desarrolladores, que serán los encargados de crear programas que recuperen contenidos Web de diversas fuentes, procesen la información e intercambien los resultados obtenidos con otras aplicaciones.

Además, indica que tanto los agentes que producen la información como aquellos que la utilizan podrán alcanzar un entendimiento compartido intercambiando ontologías, las cuales proveerán el vocabulario necesario. A la vez, se formará una cadena de valor en la que cada agente pasará, a otro agente, información con valor agregado, adquiriendo nuevas capacidades para razonar. Finalmente, se obtendrá el resultado requerido por el usuario final. Algunos agentes dependerán de tecnologías de la Inteligencia Artificial, pero la Web Semántica será quien brinde los cimientos y el entorno de trabajo para que dichas tecnologías sean factibles. [1]

Sostener que la Web Semántica será la encargada de proveer la base y el entorno de trabajo tal vez no sea del todo cierto o viable. Es posible que el entorno sí, pero no los cimientos. ¿Por qué? Porque considerando que si al hacer referencia a la Web Semántica implica proveer de significado y conocimiento a la Web y luego, a través de razonamiento, extraer dicho conocimiento para su utilización, no es más ni menos que un campo de investigación en que la Inteligencia Artificial viene actuando desde hace muchos años. Por lo tanto, es más viable pensar que, de ser factible la Web Semántica, será la Inteligencia Artificial quien otorgue tales capacidades.

Respecto al papel de los agentes en la Web Semántica, Alesso y Smith sostienen que siempre que un agente inteligente no pueda obtener todas las conclusiones que el ser humano sí pueda alcanzar, estará de todos modos contribuyendo a una Web superior. En este caso, el objetivo de la Web Semántica es asistir a las personas en actividades online, y no reemplazarlas. [59]

Finalmente, podría decirse que se percibe una convergencia entre distintas sub-disciplinas de tecnologías de Internet, con lo cual una Web Semántica basada en agentes posee su correlato con SOA (Service Oriented Architecture) y las aplicaciones que hablan con otras aplicaciones.

II.6. Referencias

- [1] Berners-Lee, Tim – Hendler, James – Lassila, Ora, 2001. “The Semantic Web”. Scientific American Magazine. [En línea]. Disponible en internet en: <http://www.sciam.com/article.cfm?id=the-semantic-web> [con acceso el 23/08/2008]
- [2] The Unicode Consortium. “What is unicode?”. The Unicode Consortium. [En línea]. Disponible en internet en: <http://www.unicode.org> [con acceso el 03/12/2008]

- [3] Berners-Lee, Tim. 1998. “Uniform Resource Identifiers (URI): Generic Syntax”. The Internet Society. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc2396.txt>> [con acceso el 15/12/2008]
- [4] Wikipedia. “XML”. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://en.wikipedia.org/wiki/XML>> [con acceso el 15/12/2008]
- [5] Walsh, Norman. “A Technical Introduction to XML”. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.xml.com/pub/a/98/10/guide0.html>> [con acceso el 05/02/2009]
- [6] W3Schools. “XML Schema”. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.w3schools.com/schema/default.asp>> [con acceso el 10/02/2009]
- [7] Lamarca Lapuente, María Jesús. “Hipertexto: el nuevo concepto de documento en la cultura de la imagen”. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.hipertexto.info/documentos/rdf.htm>> [con acceso el 07/02/2009]
- [8] W3C Web Site. “RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema”. W3C Recommendation 10 February 2004. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.w3.org/TR/rdf-schema/>> [con acceso el 23/02/2009]
- [9] Castells, Pablo. “La Web Semántica”. Universidad Autónoma de Madrid. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.ii.uam.es/~castells/publications/castells-uclm03.pdf>> [con acceso el 24/02/2009]
- [10] Finin, Tim – Joshi, Anupam. “Agents, Trust, and Information Access on the Semantic Web”. Department of Compute Science and Electrical Engineering, University of Maryland Baltimore County. [En línea]. Disponible en internet en:

- <<http://www.sigmod.org/record/issues/0212/SPECIAL/5.Finin.pdf>> [con acceso el 03/10/2009]
- [11] Wikipedia. “XML Schema”. [En línea]. Disponible en internet en: <http://es.wikipedia.org/wiki/XML_Schema> [con acceso el 10/02/2009]
 - [12] W3C Web Site. “XML Schema Part 0: Primer Second Edition”. W3C Recommendation 28 October 2004. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.w3.org/TR/xmlschema-0/>> [con acceso el 10/02/2009]
 - [13] Garlan, David – Shaw, Mary. 1994. “An Introduction to Software Architecture”. School of Computer Science, Carnegie Mellon University. [En línea]. Disponible en internet en: <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/vit/ftp/pdf/intro_softarch.pdf> [con acceso el 07/03/2009]
 - [14] Bachmann, Felix – Bass, Len – Garlan, David. 2000. “Software Architecture Documentation in Practice: Documenting Architectural Layers”. Special Report, CMU/SEI-2000-SR-004. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.sei.cmu.edu/reports/00sr004.pdf>> [con acceso el 07/03/2009]
 - [15] Zimmermann, Hubert. 1980. “OSI Reference Model - The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection”. IEEE Transactions On Communications, Vol. Com - 28, No. 4. [En línea]. Disponible en internet en: <http://www.comsoc.org/livepubs/50_journals/pdf/RightsManagement_eid=136833.pdf> [con acceso el 28/02/2009]
 - [16] Russell, Stuart - Norvig, Peter. 2004. “Inteligencia Artificial, Un Enfoque Moderno”. Segunda Edición. Pearson Prentice Hall, ISBN 84-205-4003-X
 - [17] Gruber, Thomas. “Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing”. Stanford University. [En línea] Disponible en internet en: <<http://www.itee.uq.edu.au/~infs3101/Readings/OntoEng.pdf>> [con acceso el 17/04/2009]

- [18] Studer, Rudi – Fensel, Dieter – Decker, Stefan – Benjamins, Richard. “Knowledge Engineering: Survey and Future Directions”. University of Karlsruhe. [En línea] Disponible en internet en: <http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/WBS/Publ/1999/Gckbs_rstetal_1999.pdf> [con acceso el 17/04/2009]
- [19] Stanford University. “What Is An Ontology?” Stanford University. [En línea] Disponible en internet en: <<http://www-ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html>> [con acceso el 18/04/2009]
- [20] Gruber, Thomas. “Ontology” [En línea] Disponible en internet en: <<http://tomgruber.org/writing/ontology-definition-2007.htm>> [con acceso el 08/05/2009]
- [21] Gruber, Thomas. 1992. “A Translation Approach to Portable Ontology Specifications”. Stanford University. [En línea] Disponible en internet en: <<http://tomgruber.org/writing/ontolingua-kaj-1993.pdf>> [con acceso el 08/05/2009]
- [22] van Heijst, Gertjan – Schreiber, Annette – Wielinga, Bob. “Using Explicit Ontologies in KBS Development”. University of Amsterdam. [En línea] Disponible en internet en: <<http://hcs.science.uva.nl/usr/gertjan/postscript/ijhcs-HSW.ps.gz>> [con acceso el 09/05/2009]
- [23] McGuinness, Deborah – Noy, Natalya. “Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology”. Stanford University. [En línea] Disponible en internet en: <<http://icc.mpei.ru/documents/00000832.pdf>> [con acceso el 22/05/2009]
- [24] Fernández, Mariano – Gómez-Pérez, Asunción – Juristo, Natalia. 1997. “METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering”. Universidad Politécnica de Madrid. [En línea] Disponible en

- internet en: <<http://www.aaai.org/Papers/Symposia/Spring/1997/SS-97-06/SS97-06-005.pdf>> [con acceso el 23/05/2009]
- [25] Sure, York – Studer, Rudi. 2002. “On-To-Knowledge Methodology”. University of Karlsruhe. [En línea] Disponible en internet en: <<http://www.ontoknowledge.org/download/del18.pdf>> [con acceso el 12/06/2009]
 - [26] Witbrok, Michael – Matuszek, Cynthia – Brusseau, Antoine – Kahlert, Robert – Fraser, Bruce – Lenat, Douglas. “Knowledge Begets Knowledge: Steps towards Assisted Knowledge Acquisition in Cyc”. Cycorp. [En línea] Disponible en internet en: <http://www.cyc.com/doc/white_papers/AAAI05-symposium-KCVC.pdf> [con acceso el 20/06/2009]
 - [27] Fernández López, Mariano. “Overview Of Methodologies For Building Ontologies”. Universidad Politécnica de Madrid. [En línea] Disponible en internet en: <<http://www.lsi.upc.es/~bejar/aia/aia-web/4-fernandez.pdf>> [con acceso el 10/07/2009]
 - [28] Ceccaroni, Luigi – Ribiere, Myriam. “Experiences in Modeling Agentcities Utility-Ontologies with a Collaborative Approach”. [En línea] Disponible en internet en: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.11.7993>> [con acceso el 26/07/2009]
 - [29] OKBC Working Group. “OKBC: Open Knowledge Base Connectivity”. [En línea] Disponible en internet en: <<http://www.ai.sri.com/~okbc/>> [con acceso el 26/07/2009]
 - [30] Motta, Enrico. “OCML Operational Conceptual Modelling Language”. [En línea] Disponible en internet en: <<http://technologies.kmi.open.ac.uk/ocml/>> [con acceso el 02/08/2009]

- [31] University of Maryland. “The SHOE FAQ”. University of Maryland, Department of Computer Science. [En línea] Disponible en internet en: <<http://www.cs.umd.edu/projects/plus/SHOE/faq.html#q1.1>> [con acceso el 05/08/2009]
- [32] Kifer, Michael – Lausen, Georg – Wu, James. “Logical Foundations of Object-Oriented and Frame-Based Languages”. [En línea] Disponible en internet en: <<http://www.cs.sunysb.edu/~kifer/TechReports/flogic.pdf>> [con acceso el 15/08/2009]
- [33] Loom Project Home Page. “LOOM”. Loom Project. [En línea] Disponible en internet en: <<http://www.isi.edu/isd/LOOM/>> [con acceso el 15/08/2009]
- [34] Karp, Peter – Chaudhri, Vinay – Thomere, Jerome. 2000. “XOL: An XML-Based Ontology Exchange Language”. [En línea] Disponible en internet en: <<http://www.ai.sri.com/pubs/files/676.pdf>> [con acceso el 21/08/2009]
- [35] W3C Web Site. “Resource Description Framework (RDF): Concepts and Abstract Syntax”. W3C Recommendation 10 February 2004. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-concepts-20040210/>> [con acceso el 21/08/2009]
- [36] W3C Web Site. “RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema”, W3C Recommendation 10 February 2004. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.w3.org/TR/2004/RECrdf-schema-20040210/>> [con acceso el 21/08/2009]
- [37] Fensel, Dieter – Horrocks, Ian – McGuinness, Deborah – Patel-Schneider, Peter – Studer, Rudi. 2000. “An informal description of Standard OIL and Instance OIL”. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.ontoknowledge.org/oil/download/oil-whitepaper.pdf>> [con acceso el 28/08/2009]

- [38] Ouellet, Roxane – Ogbuji, Uche. 2002. “Introduction to DAML: Part I”. XML.com. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.xml.com/pub/a/2002/01/30/daml1.html>> [con acceso el 29/08/2009]
- [39] W3C Web Site. 2004. “OWL Web Ontology Language Overview” W3C Recommendation 10 February 2004. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-features-20040210/>> [con acceso el 29/08/2009]
- [40] DAML Web Site “DAML: Language Feature Comparison”. Daml.org, [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.daml.org/language/features.html>> [con acceso el 29/08/2009]
- [41] Caraballo Pérez, Yeter. 2007. “Los Topic Maps y su relación con las redes sociales”. Revista Acimed, vol. 16. [En línea]. Disponible en internet en: <http://bvs.sld.cu/revistas/aci/vol16_4_07/aci091007.html> [con acceso el 03/09/2009]
- [42] Cloran, Russell – Irwin, Barry. “Trust on the Semantic Web”. Rhodes University. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://russell.rucus.net/masters/writings/conferences/satnac2004Cloran>> [con acceso el 03/09/2009]
- [43] W3C Web Site. “OWL Web Ontology Language Reference”. W3C Recommendation 10 February 2004. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-ref-20040210/>> [con acceso el 17/09/2009]
- [44] W3C Web Site. “OWL 2 Web Ontology Language Document Overview”. W3C Recommendation 27 October 2009. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.w3.org/TR/owl2-overview/>> [con acceso el 05/11/2009]

- [45] Al-Feel, Haytham – Koutb, M.A. – Suoror, Hoda. 2009. “Toward An Agreement on Semantic Web Architecture”. World Academy of Science, Engineering and Technology. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.waset.org/journals/waset/v49/v49-142.pdf>> [con acceso el 10/10/2009]
- [46] Pinheiro da Silva, Paulo – McGuinness, Deborah – Fikes, Richard. “A Proof Markup Language for Semantic Web Services”. Stanford University. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://xml.coverpages.org/PML-StanfordKSL-04-01.pdf>> [con acceso el 10/10/2009]
- [47] Palmer, Sean. 2001. “The Semantic Web: An Introduction”. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://infomesh.net/2001/swintro/>> [con acceso el 08/07/2009]
- [48] Gerber, Aurna. “A Semantic Web Status Model”. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://ksg.meraka.org.za/~agerber/SWStatus.pdf>> [con acceso el 17/09/2009]
- [49] Wikipedia. “Semantic Web Stack”. Wikipedia. [En línea]. Disponible en internet en: <http://en.wikipedia.org/wiki/Semantic_Web_Stack> [con acceso el 07/07/2009]
- [50] W3C Web Site. “RIF Overview”. W3C Working Draft 1 October 2009. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.w3.org/TR/rif-overview/>> [con acceso el 07/10/2009]
- [51] Berners-Lee, Tim. 2000. “Semantic Web - XML2000”. W3.org. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.w3.org/2000/Talks/1206-xml2k-tbl/slide10-0.html>> [con acceso el 08/07/2009]
- [52] W3C Web site. "Layer Cake". [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.w3.org/2007/03/layerCake.png>> [con acceso el 08/07/2009]

- [53] W3C Web Site. “SPARQL Query Language for RDF”. W3C Recommendation 15 January 2008. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>> [con acceso el 04/11/2009]
- [54] Melgin, Ernesto. “Web Semántica: ¿El futuro del conocimiento humano?”. Ermes Consulting. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.ermesconsulting.com>> [con acceso el 07/07/2009]
- [55] Al-Feel, Haytham - Koutb, M.A. - Suoror, Hoda, 2008. Semantic Web on Scope: Anew Architectural Model for the Semantic Web". Journal of Computer Science 4 (7): 613-624, 2008. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.scipub.org/fulltext/jcs/jcs47613-624.pdf>> [con acceso el 10/10/2009]
- [56] Berners-Lee, Tim. 2003. “Standards, Semantics and Survival”. W3.org. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.w3.org/2003/Talks/01-siia-tbl/slide18-0.html>> [con acceso el 08/07/2009]
- [57] Berners-Lee, Tim. 2005. “Web for real people”. W3.org. [En línea]. Disponible en internet en: <[http://www.w3.org/2005/Talks/0511-keynote-tbl/#\[17\]](http://www.w3.org/2005/Talks/0511-keynote-tbl/#[17])> [con acceso el 12/07/2009]
- [58] W3C Web site. “RDF Primer”. W3C Recommendation 10 February 2004. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.w3.org/TR/rdf-primer/>> [con acceso el 05/03/2009]
- [59] Alesso, Peter – Smith, Craig. 2006. “Thinking on the Web: Berners-Lee, Gödel and Turing”. Wiley-Interscience. ISBN-13: 978-0-471-76814-2
- [60] Peis, Eduardo – Herrera-Viedma, Enrique – Morales del Castillo, José. “Aproximación a la web semántica desde la perspectiva de la Documentación”. Investigación Bibliotecológica, Vol. 21, No. 43, 2007, pp. 47-71. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.ejournal.unam.mx/ibi/vol21-43/IBI002104303.pdf>> [con acceso el 03/10/2009]

CAPÍTULO III. DISCUSIONES Y CRÍTICAS

En el capítulo anterior se realizó una presentación de los componentes de la Web Semántica. Principalmente, la misma se basó en la arquitectura de capas propuesta por Tim Berners-Lee. Dado que diversos autores difieren en cuanto a opiniones o puntos de vista acerca de dicho modelo, en el presente capítulo se realizará una revisión de algunas propuestas alternativas o modificaciones al enfoque clásico de la Web Semántica.

III.1. Crítica a la definición de Berners-Lee

Lluís Codina cuestiona algunos puntos de la definición de Web Semántica expuesta por Tim Berners-Lee. Codina sostiene que la Web Semántica es por ahora el nombre de una aspiración, de un objetivo bastante ambicioso que pretende lograr que las páginas que integran la Web dejen de ser meras cadenas de caracteres para las computadoras y pasen a ser textos con sentido, es decir, con semántica, tal como lo son para los seres humanos. Intentar solucionar esto, es buscar que una computadora pueda deducir que “evitar la guerra” es prácticamente lo mismo que “conseguir la paz”, es decir, que además de razonar pueda interpretar el significado de las palabras.

Considerando lo anterior y el ejemplo del restaurante del Capítulo I, punto 2, es evidente que se está frente a un objetivo que la informática viene intentando alcanzar en los últimos cincuenta años a través de la Inteligencia Artificial, y aún no ha podido conseguir. ¿Por qué habría de hacerlo ahora?

Analizando el esquema de la Web Semántica, el cual se basa en el etiquetado XML, permite preguntarse ¿por qué los creadores de páginas web se van a abocar a publicar sus documentos en dicho lenguaje si pueden seguir haciéndolo en HTML, el cuál es más sencillo que el primero?

Respecto a los metadatos, se supone que quienes los indican son los propios creadores de las páginas; pero, hay que tener en cuenta que muchos autores de este tipo de documentos no están bien entrenados para hacerlo y poder determinar las palabras clave

más acordes. Además, los autores de las páginas web pueden equivocarse, olvidarse de colocar los metadatos, cometer errores de ortografía, etc.

Por estos motivos, muchos buscadores no se fían de los metadatos para generar los resultados. [6]

III.2. Dificultades con el modelo clásico

En un artículo escrito para readwriteweb.com, Alex Iskold resalta algunos de los inconvenientes que presenta el modelo de Tim Berners-Lee. Como primer problema, sostiene que RDF y OWL son complicados. Esto se ve reflejado en que para los científicos y matemáticos, los lenguajes basados en grafos insumen mucho tiempo de aprendizaje, mientras que para las personas menos técnicas, es casi imposible entenderlos. El resultado, documentos confusos y difíciles de analizar.

Otro punto que plantea el autor, es el problema del lenguaje natural. Si RDF y OWL apuntan a ser solamente analizados por las máquinas por resultar complejos para el hombre, ¿cómo serán creados dichos documentos? Hay dos posibilidades: mediante procesos automáticos, o manualmente. Si existen procesos o algoritmos que, tomando una porción de texto, emiten como salida un documento RDF, estos deberían ser inteligentes o poseer cierta inteligencia artificial. Entonces, ¿para qué es necesario RDF? Por otro lado, si la creación de los documentos RDF y OWL debe ser realizada manualmente, cargando datos para que las computadoras los procesen, resultará en una labor ineficiente. [1]

III.3. Solapamiento de OWL sobre RDF Schema

Patel-Schneider y Fensel analizaron el problema del solapamiento de OWL sobre RDFS. Su postura indicaba que el único solapamiento semántico en la Web Semántica aprobada por el W3C es el correspondiente entre RDF y RDF Schema, ya que este último utiliza la sintaxis de RDF y además, es una extensión semántica. En cambio, el solapamiento de OWL sobre RDFS deriva en paradojas. Si bien OWL utiliza la misma sintaxis que RDFS, en el intento de extender semánticamente a éste mediante la incorporación de clases definidas o restricciones, se generan contradicciones. [2]

Cuenca Grau también trató el tema del solapamiento de OWL sobre RDFS, aportando su punto de vista. El autor sostiene que los futuros lenguajes de la Web Semántica que se implementen sobre la capa ontológica, no lo estarán sobre OWL Full, ya que al ser demasiado expresivo, su formalización es más compleja y no estándar. Así, OWL Full no es el mejor lenguaje para hacer de base a futuros lenguajes semánticos.

Además, Grau sostiene que para definir la semántica de la Web Semántica es necesario utilizar dos formalismos lógicos diferentes. Por un lado, RDF y RDFS utilizan semántica basada en SKIF⁹, mientras que OWL utiliza semántica estándar basada en lógica de descripción. Lograr compatibilidad entre estos dos formalismos deriva en que la Web Semántica sea compleja y difícil de entender.

Por último, Grau propone un nuevo enfoque para la Web Semántica, donde el solapamiento es más claro y fácil de entender y formalizar. La propuesta consiste en reemplazar la capa ontológica por una compuesta de RDFS(DL)¹⁰, OWL Lite y OWL DL. Estos tres componentes se basan en lógica descriptiva estándar, logrando que los metadatos y la capa ontológica compartan una misma semántica, y consiguiendo integración de las capas en un único formalismo coherente. [7]

III.4. Papel sintáctico y semántico de RDF

Patel-Schneider también resalta algunas deficiencias del modelo de arquitectura de la Web Semántica. Entre ellas, que dejan muchos detalles sin especificar, haciendo confusa su interpretación.

Pero, principalmente cuestiona el papel sintáctico y semántico que cumple RDF en la arquitectura. En cuanto a la sintaxis, sostiene que codificar información compleja utilizando triplas resulta laborioso.

⁹ SKIF: Semantic for the Knowledge Interchange Format. Lenguaje basado en lógica de primer orden para el intercambio de conocimiento. Para más detalles, remitirse a <http://www.w3c.hu/forditasok/RDF/cached/HayesMenzel-SKIF-IJCAI2001.pdf>

¹⁰ RDFS(DL): Sub-lenguaje de RDFS(FA), a su vez derivado de RDFS.

En cuanto a la semántica, genera más inconvenientes aún. Esto se debe a que, como cada tripla en RDF es un hecho, todos los hechos de las triplas a codificar deben ser verdaderos antes de que puedan ser inferidos, independientemente de cualquier otro significado que los hechos sintácticos codifiquen. Se necesita una maquinaria compleja para requerir que los hechos sean verdaderos cuando sea necesario, lo cual puede causar paradojas semánticas.

En OWL, estas paradojas semánticas son obviadas, ya que OWL no requiere que estructuras sintácticas auto referenciales sean inferibles. Esto significa que ciertos tipos de inferencias no pueden conseguirse en OWL.

Como el problema es el uso de triplas como hechos que emplean una sintaxis, la solución propuesta es permitir distintas sintaxis para diferentes lenguajes de la Web Semántica. Para ello, propone el uso de referencias IRI¹¹ y tipos de datos de esquema XML. La unificación en la Web Semántica se logra con un marco semántico común. Puede especificarse una sintaxis separada para OWL, lenguajes de reglas como SWRL y lógica de primer orden, mientras que su semántica puede darse como condición agregada al modelo teórico de RDF. Para lograr compatibilidad en las nuevas sintaxis se utilizarían tipos MIME¹². El único esfuerzo necesario para implementarlo es el uso de intérpretes entre los distintos niveles de la estructura. [9]

III.5. Evaluación de la arquitectura en capas

Gerber propuso una lista de criterios a tener en cuenta para la evaluación de arquitecturas en capas. Los seis criterios que componen la lista son: contexto definido claramente, nivel de abstracción apropiado, ocultamiento de los detalles de implementación innecesarios, funcionalidad de las capas definida claramente, solapamiento apropiado y modularidad. [3] [4]

Evaluando la arquitectura de la Web Semántica según los puntos propuestos, el autor sostiene que la misma no cumple con la mayoría de los criterios. Si bien la

¹¹ IRI: Internationalized Resource Identifiers

¹² MIME: Multipurpose Internet Mail Extensions

arquitectura está especificada dentro del contexto de los lenguajes de la Web Semántica, falla cuando debe tener en cuenta el nivel de abstracción, descripción de funcionalidad y especificación de la interfaz. A continuación se explayará cada uno de los puntos mencionados:

- Contexto definido claramente: el contexto está declarado con los lenguajes que se requieren para implementar la Web Semántica.
- Nivel de abstracción apropiado: la Web Semántica no cumple con este criterio debido a que las tres capas superiores definen funcionalidad, pero el resto especifican tecnologías existentes más que funcionalidades. No es clara la función e interfaz de las Firmas Digitales como capa vertical, ni tampoco por qué Unicode y URI figuran como dos secciones en la capa inferior.
- Ocultamiento de los detalles de implementación innecesarios: evaluando la primera versión de Berners-Lee, se evidencia que las tres capas inferiores y la de Firmas Digitales, describen tecnologías o especificaciones de implementación más que las funcionalidades, por lo tanto tampoco satisface este punto.
- Funcionalidad de las capas definida claramente: las tres capas superiores definen funcionalidad, pero no es evidente la relación de éstas con los lenguajes que especifica el contexto de la arquitectura. Tampoco es clara la función de las Firmas Digitales, Unicode y URI desde su posición en la arquitectura. Por lo tanto, tampoco logra conformidad en este criterio.
- Solapamiento apropiado: este criterio abarca la especificación de dependencias. La presencia de capas verticales y otras al mismo nivel, implica claramente que no éstas no están construidas una sobre otra. En ninguna versión de la arquitectura es evidente cuáles son los requerimientos de las capas superiores respecto de las inferiores. Este punto tampoco se cumple.
- Modularidad: Podría sostenerse que este criterio es indefinido debido a que la funcionalidad de las capas no está determinada. Además, debe tenerse en cuenta que el concepto de modularidad implica que la implementación de una capa debería poder ser reemplazada por otra sin comprometer la integridad del modelo; y las tecnologías descritas en las capas inferiores no pueden ser reemplazadas por otras alternativas, con lo cual no se logra conformidad en este punto.

III.6. Nueva arquitectura para la Web Semántica

Al-Feel, Koutb y Suoror propusieron, luego de analizar la evaluación realizada por Gerber del modelo en capas, un nuevo modelo de arquitectura para la Web Semántica. El mismo consiste en once capas horizontales y una vertical. Las capas están construidas una sobre otra pero, a diferencia del modelo propuesto por Tim Berners-Lee, no posee forma triangular, ya que consideran que no existe una justificación para tal representación. Podría suponerse que cada capa utiliza una parte, y no toda, de la capa que está debajo, pero no parece ser razón suficiente. [5]

Las tecnologías que proponen para implementar cada capa son acordes a las existentes al momento de desarrollar la investigación.

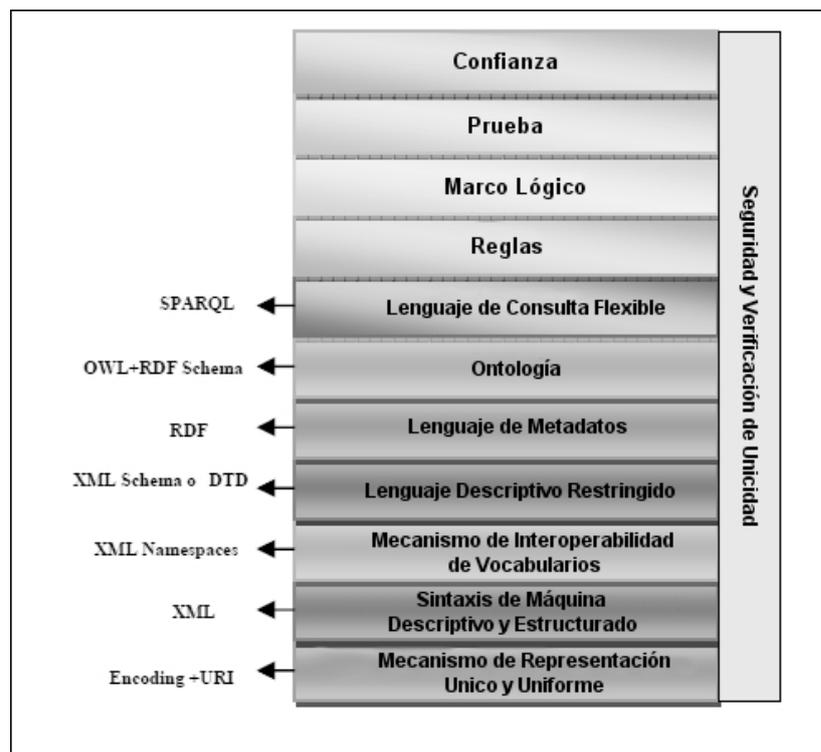


Figura 7. Propuesta de arquitectura para la Web Semántica. [5]

Descripción de las capas:

- Capa 1: Mecanismo de Representación Único y Uniforme. Se encarga de decodificar cualquier carácter independientemente del lenguaje como así también de identificar inequívocamente diferentes recursos. Las tecnologías propuestas son Unicode y URI.

- Capa 2: Sintaxis Descriptiva y Estructurada. Forma la base de las tecnologías de las capas superiores y debería ser procesada por máquinas. El lenguaje para cumplir esta función es XML.
- Capa 3: Mecanismo de Interoperabilidad de Vocabularios. Es la encargada de soportar la mezcla de diferentes elementos de distintos vocabularios para realizar una función específica. Se propone Namespaces para identificar y distinguir entre diferentes elementos XML.
- Capa 4: Lenguaje Descriptivo Restringido. Mediante XML Schema o DTD, esta capa se encarga de asegurar que los documentos estén escritos de manera correcta según las recomendaciones.
- Capa 5: Lenguaje de Metadatos. Aquí se ubica el lenguaje utilizado para representar metadatos que sean accesibles por las máquinas, y que proveen de significado a la Web Semántica. La tecnología sugerida es RDF.
- Capa 6: Ontología. En esta capa se describen los términos de un dominio, como así también las propiedades y relaciones entre propiedades y diferentes recursos. Puede utilizarse RDF Schema para las descripciones más simples y OWL cuando se requieren ontologías más descriptivas.
- Capa 7: Lenguaje de Consulta Flexible. Un lenguaje que retorne información descentralizada dependiente de una sintaxis que sea procesable por máquinas. La tecnología para esta capa podría ser SPARQL.
- Capa 8: Capa de Reglas. Capa que soporte inferencia y que permita consulta y filtrado. El lenguaje propuesto es RIF.
- Capa 9: Marco Lógico. Debe poder responder a la pregunta ¿por qué determinada información es presentada al usuario? No hay tecnología disponible para implementar esta capa.
- Capa 10: Prueba. La función de esta capa es responder a los agentes por qué deben creer en los resultados. Tampoco hay tecnología recomendada por el W3C, aunque existe un lenguaje en desarrollo llamado PML¹³.
- Capa 11: Confianza. Permite asegurar que la información brindada es válida y que existe un grado de confianza en el recurso que provee la misma. No existe tecnología recomendada que pueda aplicarse en esta capa.

¹³ PML: Proof Markup Language. Ver <http://xml.coverpages.org/PML-StanfordKSL-04-01.pdf>

- Capa vertical: Permite brindar seguridad y verificación de unicidad. Las dos tecnologías recomendadas por W3C son Criptografía y Firmas Digitales.

Finalmente, los autores concluyen que la arquitectura propuesta logra conformidad en todos los criterios sugeridos por Gerber. A la vez, reconocen que el estudio realizado requiere ser actualizado debido a que, al momento de realizarlo, no existen tecnologías para cubrir algunas de las funcionalidades, mientras que otras aún no alcanzaron la clasificación de estándares.

III.7. Desafíos de la Web Semántica

Benjamins, Contreras y otros, enumeraron algunos puntos que consideraron desafíos que deberían ser afrontados por la Web Semántica. Aunque en los últimos años se han logrado avances en algunos de éstos, aquí se mencionan: [8]

- Disponibilidad de contenido. La construcción de herramientas que soporten contenido web y permitan actualizar el contenido actual es uno de los retos, sin omitir tanto contenido estático como dinámico.
- Disponibilidad, desarrollo y evolución de ontologías. Considerando que las ontologías son la clave de la Web Semántica al ser las encargadas de llevar el significado y semántica de la misma, es necesario que:
 - Existan ontologías centrales para ser usadas por todos los dominios.
 - Se provea soporte metodológico y tecnológico para las actividades de procesos de desarrollo de ontologías; como lenguajes para adquirir conocimiento, modelar conceptos y codificar ontologías; herramientas de traducción, integración y vinculación de ontologías; y, herramientas que permitan verificar la consistencia de las ontologías.
 - Se disponga de herramientas que faciliten la evolución de ontologías y su relación con los datos existentes.
- Escalabilidad del contenido de la Web Semántica. Es necesario que el contenido esté organizado y se provean mecanismos para encontrarlo. Estas tareas deben realizarse previendo un posible gran crecimiento de la Web Semántica.

- Multilingüe. Aunque el problema de la diversidad de idiomas ya existe en la web actual, debe ser resuelto en la Web Semántica. El acceso a contenido semántico debería ser posible independientemente del idioma, tanto el de quienes desarrollan ontologías, como el de quienes agregan referencias o acceden al contenido.
- Visualización. Deben explorarse nuevas técnicas para visualizar contenido en la Web Semántica, que permitan con el menor esfuerzo identificar información relevante, como por ejemplo contenido 3D.
- Estandarización de lenguajes para la Web Semántica. Es importante la aparición, a la brevedad, de tecnologías y lenguajes estándares que posibiliten la creación de la Web Semántica.

III.8. Referencias

- [1] Iskold, Alex, 2007. “Semantic Web: Difficulties with the Classic Approach”. Readwriteweb.com. [En línea]. Disponible en internet en: <http://www.readwriteweb.com/archives/semantic_web_difficulties_with_the_classic_approach.html> [con acceso el 23/08/2009]
- [2] Patel-Schneider, Peter F. – Fensel, Dieter, 2002. “Layering the Semantic Web: Problems and Directions”. First International Semantic Web Conference. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://204.178.16.26/who/pfps/publications/layering.pdf>> [con acceso el 01/09/2009]
- [3] Gerber, A.J. - Barnard, A. - van der Merwe, A.J., 2007. “Towards a Semantic Web Layered Architecture”. [En línea]. Disponible en internet en: <http://researchspace.csir.co.za/dspace/bitstream/10204/1189/1/Gerber_2007.pdf> [con acceso el 02/09/2009]
- [4] Gerber, A.J., 2006. “Towards a Comprehensive Functional Layered Architecture for the Semantic Web”. University Of South Africa. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://etd.unisa.ac.za/ETD->

db/theses/available/etd-06042007-111829/unrestricted/thesis.pdf> [con acceso el 02/09/2009]

- [5] Al-Feel, Haytham – Koutb, M.A. – Suoror, Hoda, 2009. “Toward An Agreement on Semantic Web Architecture”. World Academy of Science, Engineering and Technology. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.waset.org/journals/waset/v49/v49-142.pdf>> [con acceso el 12/09/2009]
- [6] Codina, Lluís. “La Web Semántica: una visión crítica”. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.lluiscodina.com/articulos/ws.doc>> [con acceso el 21/02/2009]
- [7] Cuenca Grau, Bernardo. “A Possible Simplification of the Semantic Web Architecture”. Maryland Information and Network Dynamics Lab. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.mindswap.org/papers/simplific.pdf>> [con acceso el 12/09/2009]
- [8] Benjamins, Richard – Contreras, Jesús – Corcho, Oscar – Gómez-Pérez, Asunción. “Six Challenges for the Semantic Web”. [En línea]. Disponible en internet en: <http://www.dia.fi.upm.es/~ocorcho/documents/KRR2002WS_BenjaminsEtAl.pdf> [con acceso el 10/10/2009]
- [9] Patel-Schneider, Peter. "A Revised Architecture for Semantic Web Reasoning". Bell Labs Research. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://ect.bell-labs.com/who/pfps/publications/architecture.pdf>> [con acceso el 10/10/2009]

CAPÍTULO IV. PROBLEMATICA DE LA REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

IV.1. Qué se entiende por Representación del Conocimiento

El conocimiento puede ser definido o considerado como una colección apropiada de información, tal que resulta útil. [11]

En el campo de la Inteligencia Artificial, el conocimiento es definido por Newell como “aquello que puede ser atribuido a un agente, tal que su comportamiento puede ser computado acorde al principio de racionalidad”. Mientras que el principio de racionalidad sostiene que “si un agente tiene conocimiento que una de sus acciones lo conducirá a uno de sus objetivos, entonces el agente seleccionará esa acción”. [12]

Para Davis, Shrobe y Szolovits, la Representación del Conocimiento puede definirse desde cinco perspectivas, según el rol que desempeñe. Estos roles pueden ser: [7]

- a. *Un sustituto de la cosa misma*, usado para razonar acerca de una entidad del mundo sin que ésta actúe en él. En este caso debe existir cierta correspondencia entre el sustituto y su referente en el mundo, siendo esta correspondencia la semántica para la representación. Es importante también definir qué atributos del original tomar y explicitar, teniendo en cuenta que la fidelidad perfecta es imposible. Esto provoca que la representación del mundo real sea limitada. Otra consecuencia es que muchas conclusiones sean imperfectas, y tal imperfección puede ser el origen de errores.
- b. *Un conjunto de compromisos ontológicos*, que responden a la pregunta ¿en qué términos debería pensar acerca del mundo? Asumiendo que toda representación es una aproximación imperfecta de la realidad, debe decidirse qué parte del mundo ver y cuál ignorar en la representación. Distintas tecnologías de representación ofrecen distinto compromiso ontológico; por ejemplo, la lógica ve el mundo como entidades individuales y sus relaciones, los sistemas basados en reglas lo ven en términos de triplas atributo-objeto-valor y las reglas de

inferencia que las conectan, y los marcos dan un pensamiento en términos de objetos prototipos. La elección del método de representación impactará en la percepción del mundo que se obtenga.

- c. *Una teoría fragmentaria del razonamiento inteligente* expresada en base a una concepción fundamental de la representación del razonamiento inteligente, un conjunto de inferencias aprobadas, y un conjunto de inferencias recomendadas. Fragmentaria, porque incluye sólo una parte del complejo razonamiento inteligente. Las inferencias aprobadas indican lo que puede ser inferido, mientras que las recomendadas se refieren a aquello que debería ser inferido.
- Razonamiento inteligente. Su naturaleza proviene de diversos campos de estudio, como la lógica matemática, psicología, biología, estadísticas y economía, los cuales proveyeron distintas nociones de lo que se llama razonamiento inteligente.
 - Lógica matemática. Asume que es un tipo de cálculo formal, generalmente deducción. Surge con Aristóteles y la idea de catalogar y acumular silogismos para demostrar qué tomar como argumentos convincentes. La línea fue seguida por Descartes, von Leibniz, Boole con las Leyes de la Verdad. Luego, Frege y Peano agregaron fundamentos con el cálculo de predicados. Finalmente, este tipo de razonamiento se conoce como lógica de primer orden y se basa en la creencia que el razonamiento inteligente consiste en un proceso que puede ser capturado en una descripción formal precisa, concisa y completa.
 - Psicología. Ve el razonamiento como una característica del comportamiento humano, donde el objeto de interés es un fenómeno empírico del mundo natural. Además, sostiene que la inteligencia puede ser una gran colección de mecanismos y fenómenos, de la cual no puede darse una descripción completa y concisa.
 - Biología. Asume la visión de que el razonamiento es un comportamiento característico que responde a estímulos.
 - Teoría de la probabilidad. Agrega lógica a la noción de incertidumbre. Asume que el razonamiento inteligente obedece los axiomas de la teoría de la probabilidad.

- Economía. Indica que el razonamiento se define por adherencia a la teoría de la utilidad.
- Inferencias aprobadas. Son un conjunto de inferencias que se estima son conclusiones apropiadas estimadas a partir de la información disponible. Las ventajas de las respuestas que generan incluyen que son intuitivamente satisfactorias, explícitas y donde pueden darse pruebas formales.
- Inferencias recomendadas. Dado que el conjunto de las inferencias aprobadas puede ser muy grande e inmanejable, las inferencias recomendadas permiten indicar cuáles inferencias son apropiadas. O sea, señalan cómo razonar inteligentemente. Minsky brinda un ejemplo de un conjunto de este tipo de inferencias, observando el comportamiento humano:

“Es una teoría parcial del pensamiento... donde sea que se encuentre una nueva situación, selecciona de la memoria una estructura llamada marco; un marco recordado para ser adaptado a la realidad cambiando detalles, de ser necesario. Un marco representa una situación estereotipada.” [6]

Otras tecnologías como las redes semánticas, sugieren propagación bidireccional por la red para obtener inferencias recomendadas. Con el mismo fin, las reglas de los sistemas basados en conocimientos se inspiran en la observación del razonamiento experto humano.

La representación, en la lógica, ofrece sólo una teoría de inferencias aprobadas, callando a las preguntas de qué inferencias recomendar. Esto se debe a un deseo de generalidad y a una forma declarativa del lenguaje, ambos considerados ventajas del enfoque lógico. En este caso, el usuario debe intervenir para indicarle al sistema qué hacer escribiendo sentencias, o dejar al sistema hacer lo correcto seleccionando axiomas y teoremas, ó bien construir una estrategia de inferencias de propósito especial.

- d. *Un medio o entorno para el cómputo eficiente.* Medio donde se desarrolla el pensamiento. Una contribución, es la guía que una representación provee para organizar la información y facilitar las inferencias recomendadas. Minsky afirma que:

“Junto a los marcos hay cierto tipo de información. Alguna de ésta es acerca de cómo usar el marco. Alguna es acerca de lo que se espera que suceda luego. Alguna es acerca de qué hacer si esas expectativas no son confirmadas.” [6]

Otras representaciones otorgan guías similares. Las redes semánticas facilitan la propagación bidireccional a través de un conjunto apropiado de links, mientras que los sistemas basados en reglas ofrecen inferencias estimables mediante índices desde objetivos a reglas cuyas conclusiones coinciden y desde hechos a reglas cuyas premisas concuerdan.

- e. *Un medio de expresión humana*, es decir, un lenguaje en el cual se dicen cosas acerca del mundo.

IV.2. Limitaciones de la Representación del Conocimiento

Para hacer posible el funcionamiento de la Web Semántica, debe existir información estructurada que pueda ser accedida por las computadoras y reglas de inferencia que éstas puedan aplicar para lograr un razonamiento automatizado sobre dicha información. Es indispensable entonces, “traducir” el conocimiento humano de modo que las computadoras puedan utilizarlo y, a través de las reglas, sacar conclusiones.

Obviamente, no es tarea sencilla trasladar el conocimiento a un formato entendible por las computadoras y, generalmente, estas son las características que dificultan su representación:

- es voluminoso
- es difícil de caracterizar con precisión.
- es incierto e impreciso
- cambia constantemente

Para que la representación del conocimiento sea adecuada, debe ser capaz de resolver ciertos aspectos:

- captar generalizaciones
- ser comprensible
- fácilmente modificable, incrementable
- ser usado en diversas situaciones y propósitos
- permitir diversos grados de detalle
- captar la incertidumbre, imprecisión

El inconveniente mayor que cualquier sistema de representación del conocimiento debe afrontar es la complejidad de lo que se conoce como “sopa de conocimiento”, lo cual es ni más ni menos que la heterogénea y frecuentemente inconsistente mezcla que las personas tienen en sus mentes. Gran parte de este conocimiento puede ser representado en forma de sentencias o símbolos, sin embargo, mucho de este conocimiento es almacenado en forma de imágenes.

La complejidad no es a causa de la manera en que el cerebro trabaja o la forma en que el lenguaje natural expresa la información, sino a cuestiones que resultan difíciles de reconocer y determinar cuáles son enfocadas en la experiencia.

Sobre-generalizaciones, definiciones incompletas, aplicaciones no anticipadas, conflictos con características preestablecidas, condiciones anormales, son particularidades de la naturaleza del mundo, y no defectos del lenguaje. Todos los lenguajes constan de símbolos discretos organizados en patrones sintácticos; en cambio, el mundo real posee un sinfín de cosas diversas, sucesos, formas, sustancias, cambios y flujos continuos con transiciones que no pueden percibirse. Ningún lenguaje basado en palabras o símbolos discretos puede capturar siempre toda la complejidad de un sistema continuo.

Para un conocimiento que puede ser representado en símbolos discretos, la enorme cantidad de detalles provoca que sea prácticamente imposible mantener dos bases de datos o bases de conocimiento independientes de manera consistente. [1]

Todo esto hace que resulte imposible brindar definiciones precisas para conceptos que son aprendidos a través de la experiencia. Kant, observó que sólo aquellos conceptos

artificiales inventados por las personas para un propósito particular pueden ser definidos completamente:

“Imposibilidad de las definiciones empíricamente sintéticas. Como no es arbitraria la síntesis de las nociones empíricas, como es empírica, y en esta cualidad nunca puede ser perfecta (porque puede descubrirse en la experiencia un número mayor de caracteres de la noción). Las nociones empíricas no pueden ser por lo tanto definidas. Observación. Las nociones arbitrarias formadas sintéticamente son, pues, las únicas que pueden definirse. Estas definiciones de nociones arbitrarias, que no solamente son siempre posibles, sino también necesarias, y que deben proceder a todo lo que se haya de decir de una noción arbitraria, pueden también llamarse declaraciones (o explicaciones), en cuanto se explica de este modo el pensamiento o se da cuenta de lo que se entiende por una expresión.” [2]

Wittgenstein y Waismann proporcionaron dos de las afirmaciones más recientes respecto a la definición de conceptos. Wittgenstein sostiene que los conceptos basados en la experiencia no pueden ser definidos por un conjunto fijo de condiciones necesarias y suficientes; en cambio, sólo pueden definirse mediante ejemplos y diciendo que son instancias del concepto. [3]

Wittgenstein expande mucho esas ideas en “Tractatus Logico-Philosophicus”¹⁴. Mientras que Imre Lakatos, en “Pruebas y Refutaciones”¹⁵, profundiza más aún, particularmente en los conceptos de pruebas y refutaciones.

De forma similar, Waismann indica que cualquier definición de conceptos empíricos, nunca será completa, ya que puede surgir alguna situación imprevista por la cual deba modificarse la definición.

Los principios expuestos implican que todas las aproximaciones son clasificaciones y que los nuevos ejemplos no se ajustarán exactamente a las categorías existentes. Pero, el

¹⁴ Wittgenstein, Ludwig. “Tractatus Logico-Philosophicus”. Alianza Universidad, 5ta. Ed. 1981, ISBN 84-206-2050-5.

¹⁵ Lakatos, Imre. “Pruebas y Refutaciones”. Alianza Universidad, 1ra. Ed. 1978, ISBN 84-206-2206-0.

razonamiento deductivo requiere definiciones precisas, axiomas declarados claramente y reglas formales de inferencia.

La lógica es un excelente medio para razonar acerca de conocimiento bien definido, pero por sí sola, no puede hacer precisiones en términos mal definidos o determinar si se está perdiendo información relevante. [4]

IV.3. ¿Hombre y máquina colaborando?

En el primer capítulo se expuso la definición de Web Semántica por Tim Berners-Lee, y se dijo que hombre y máquina sólo podrían trabajar en cooperación si contaran con un mismo nivel de intelecto. Pero, si se analiza lo que la Inteligencia Artificial viene intentando desde hace años, puede deducirse que en la actualidad esto aún no es posible. ¿Por qué? Para intentar responder a esa pregunta, se presentarán algunas de las posturas de quienes ya estudiaron el problema con anterioridad.

Minsky, intenta responder algunas cuestiones que aquejan frecuentemente a los investigadores de la IA, como también a aquellos que se preguntan por qué las computadoras no pueden realizar lo que hace el ser humano. Minsky, comienza indicando que pretender construir una computadora que tenga sentido común es casi lo mismo que tratar de hacer una máquina que realmente piense y, para lograrlo, es necesario proveerles grandes librerías de conocimiento de sentido común. Pero, además se requiere conocimiento de cómo pensar, de cómo obtener y aplicar conocimiento relevante, y para conseguirlo deben emplearse ciertos recursos [5]:

- Usar diferentes representaciones que describan una misma situación. La Inteligencia Artificial ha desarrollado diversas formas de representar el conocimiento, pero cada una es útil en ciertos dominios y ninguna lo es en todos. Utilizar un único método de representación lleva a encontrarse con limitaciones o restricciones, cuya acumulación provoca la falla del razonamiento. Por lo tanto, es necesario contar con conocimiento acerca de cuáles métodos y representaciones son ideales para cada tipo de problema.

- Pericia negativa. Es necesario reconocer cuándo comienza a fallar cada uno de los métodos, así puede decidirse la acción a tomar.
- Recuperación de conocimiento. Requiere reconocer lo que la persona intenta hacer en determinados problemas o situaciones, en base a sucesos anteriores.
- Auto-reflexión. Las máquinas deben mantener registros que describan las acciones y los pensamientos hechos para permitirse reflejarlos en los resultados que intentan obtener.

Minsky además presenta su postura justificando por qué cree que más enfoques lógicos no funcionarán para representar el sentido común en las bases de conocimiento. Sostiene que el razonamiento lógico no es lo suficientemente flexible para servir de base del pensamiento; sino que prefiere pensar que es una colección de métodos heurísticos que es efectiva únicamente cuando se aplica a esquemas simplificados. La consistencia que necesita la lógica no está actualmente disponible, probablemente porque los sistemas consistentes son demasiado débiles.

Agrega, también, que la separación completa del conocimiento específico de las reglas de inferencia generales es muy radical. En cambio, son necesarias más formas directas para vincular fracciones de conocimiento para advertir acerca de cómo deben ser utilizados. [6]

IV.4. La Representación del Conocimiento en la Web Semántica

Entre las técnicas más comunes para representar el conocimiento, se destacan las siguientes: enfoques basados en lógica, sistemas basados en reglas y las redes semánticas. De las redes semánticas, y los marcos, se desprende el formalismo predominante en la Web Semántica, las Lógicas Descriptivas.

IV.4.1. Enfoques basados en lógica

Se basan en el uso de fórmulas lógicas para representar relaciones complejas. Requieren sintaxis bien definida, semántica y teoría de prueba. Son inflexibles y requieren gran precisión al establecer relaciones. Inferencias y conclusiones de sentido común no

siempre pueden ser obtenidas, por lo tanto, el enfoque puede ser ineficiente, particularmente con grandes combinaciones de objetos y conceptos. [11]

El formalismo más utilizado es el cálculo de predicado de primer orden o lógica de primer orden. Este formalismo permite describir un dominio de interés mediante objetos y la construcción de fórmulas lógicas respecto de dichos objetos, en la forma de predicados, funciones, variables y conectores lógicos. [8]

IV.4.2. Sistemas basados en reglas

Las reglas son esquemas que permiten construir inferencias válidas. Estos esquemas establecen relaciones sintácticas entre un conjunto de fórmulas a las que se llaman premisas y una afirmación llamada conclusión. Manifiestan la idea de consecuencia, permitiendo expresar distintos tipos de sentencias complejas. En el caso de representaciones basadas en reglas, los sistemas operan sobre hechos, que son definidos como un tipo especial de regla. [8] [11]

Son más flexibles y permiten representación de conocimiento usando conjuntos IF-THEN u otras reglas condicionales. Son más procedurales y menos formales en su lógica. Admiten control de razonamiento encadenado hacia delante o hacia atrás. [11]

En el ámbito de la Web Semántica, las reglas otorgan una manera de expresar, por ejemplo, restricciones en las relaciones definidas en RDF ó para descubrir nuevas relaciones implícitas. [9]

IV.4.3. Redes semánticas

Las redes semánticas se centran en expresar la estructura taxonómica de categorías de objetos y relaciones entre ellos. En sí, una red semántica es un grafo cuyos nodos representan conceptos y los arcos representan relaciones entre los conceptos, brindando una representación estructural de sentencias acerca de un dominio de interés. Son un medio para abstraer, del lenguaje natural, la representación del conocimiento en una forma apta para la computación. Proporcionan, además, una ayuda gráfica para visualizar una base de

conocimiento, como así también algoritmos de inferencia de propiedades de un objeto en base a su categorización. [8] [13]

Las redes semánticas capturan información declarativa acerca de objetos y conceptos donde exista una clara jerarquía de clases y donde el principio de herencia pueda utilizarse para inferir los atributos de los miembros de las subclases. Las dos formas de razonamiento de esta técnica son concordancia de propiedades comunes de los objetos y herencia de propiedades inferidas para una subclase. Están limitados a la representación e inferencia de sistemas relativamente simples. [11]

En el contexto de la Web Semántica, las redes semánticas han sido formalizadas a través de lógicas descriptivas, y además pueden encontrarse en representaciones en forma de grafos RDF. Por otro lado, para las reglas se utilizaron formalismos de programación lógica enfocados a la derivación de hechos simples acerca de objetos individuales. Ambos se encuentran como formalismos en lenguajes de representación del conocimiento de la Web Semántica. [8] [13]

IV.4.4. Lógicas Descriptivas

Las Lógicas Descriptivas o Lógicas de Descripción (DLs) son un formalismo de representación del conocimiento. El objetivo inicial de las DLs fue otorgar una semántica formal a los marcos (frames) y a las redes semánticas. Permiten especificar una jerarquía terminológica usando un conjunto restringido de fórmulas de primer orden. [11] [14]

Algunas de las características de las DLs son: [15] [11]

- Formalismo descriptivo: Ofrece conceptos, individuos, roles y constructores que permiten definir los recursos a representar.
- Formalismo terminológico: Permite definir las propiedades de la terminología descriptiva, o sea conceptos, individuos, roles y constructores.
- Formalismo asertivo: Introduce propiedades específicas de individuos.
- Generalmente son decidibles y tratables.

- Se basan en notaciones diseñadas para facilitar la descripción de definiciones y propiedades de categorías.
- Son capaces de inferir conocimiento a partir de un conocimiento dado, mediante algoritmos de razonamiento.

Una base de conocimientos en Lógica Descriptiva incluye dos elementos: Tbox (Terminological Box) y Abox (Assertion Box): [15]

- Los Tbox son empleados para describir conceptos, roles y las relaciones entre ellos. Estas estructuras son precisamente las que contienen todo el vocabulario de un dominio.
- Los Abox se utilizan para describir las relaciones entre los individuos y conceptos. Contienen aserciones (descripción de propiedades) de individuos.

Una base de conocimiento conformada por Tboxes y Aboxes es precisamente la estructura desde la cual se puede inferir conocimiento nuevo a partir del conocimiento ya declarado o representado.

Las Lógicas Descriptivas son una posibilidad para motores de inferencia para la Web Semántica. [11]

IV.4.5. Razonamiento

El objetivo de representar el conocimiento es que se pueda razonar acerca de él, tal como hacen las personas. Las operaciones básicas de razonamiento involucran conocimiento explícito, que es aquel que se le da a la base de conocimiento; y, conocimiento implícito, que es el resultante del razonamiento que realiza el sistema sobre el dominio de interés, basándose en lo que se le informó explícitamente.

Una noción importante en la representación del conocimiento y el razonamiento es la de *consistencia*, la cual se logra siempre y cuando la base de conocimiento no contenga hechos contradictorios. Otra noción es la de *completitud*, que se obtiene cuando un procedimiento de inferencia permite derivar cada sentencia que conlleva la base de

conocimiento. Así, para el razonamiento en sistemas basados en conocimiento, es deseable contar con procedimientos de inferencia completos y consistentes. [8]

En el sitio web del W3C se sostiene que las inferencias utilizadas en el contexto de la Web Semántica para descubrir nuevas relaciones entre conceptos, se realizan principalmente con un subconjunto limitado de la lógica de primer orden, por lo cual el razonamiento no utiliza todo el potencial de ésta, evitando así posibles inconsistencias en las inferencias. Con esto se intenta sostener que no se esperan dificultades e inconvenientes en las inferencias. [16]

Para la Inteligencia Artificial, y por ende también para la Web Semántica, es relevante lo establecido por Kurt Gödel en sus teoremas¹⁶. Gödel aseguró que en determinados dominios matemáticos hay problemas que no pueden ser resueltos o proposiciones que no pueden ser probadas o refutadas, con lo cual son indecidibles. Si bien el hombre resuelve problemas en estos dominios todo el tiempo, no es seguro que problemas arbitrarios puedan siempre ser resueltos. [11]

El teorema de la completitud de Gödel establece que la Lógica de Primer Orden es sólo semi-decidible. Es decir, si una sentencia es verdadera para un conjunto de axiomas, hay un procedimiento que lo determinará. En cambio, si la sentencia es falsa, no hay garantías de que el procedimiento podrá determinarlo. En este caso, el procedimiento puede nunca parar. Así, inferencias en Lógica de Primer Orden pueden resultar computacionalmente intratables para grandes cantidades de datos y axiomas. [10]

IV.5. Referencias

- [1] Sowa, John. “The Challenge of Knowledge Soup”. VivoMind Intelligence, Inc. [En línea] Disponible en internet en: <<http://www.jfsowa.com/pubs/challenge.pdf>> [con acceso el 04/09/2009]
- [2] Kant, Immanuel. 1800. “Logik: Ein Handbuch zu Vorlesungen” [traducida al francés] por J. Tissot; traducida [al castellano] por Alejo García Moreno y

¹⁶ Gödel, Kurt. “Obras Completas”. Alianza Universidad, 1ra. Ed. 1981, ISBN 84-206-2286-9.

- Juan Ruvira. [En línea] Disponible en internet en: <<http://www.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/06814970988568273086746/p0000003.htm#22>> [con acceso el 04/09/2009]
- [3] Wittgenstein, Ludwig. 1953. “Philosophical Investigations”. Basil Blackwell. [En línea] Disponible en internet en: <<http://lw-collected.nm.ru/lw-philosophical-investigations.pdf>> [con acceso el 04/09/2009]
 - [4] Waismann, Friedrich. 1952. “Verifiability” Logic and Language, the First Series, Basil Blackwell. [En línea] Disponible en internet en: <<http://www.ditext.com/waismann/verifiability.html>> [con acceso el 23/08/2009]
 - [5] Minsky, Marvin. 2000. “Commonsense-Based Interfaces”. Communications of the ACM, Vol.43 No. 8, pp. 67-73
 - [6] Minsky, Marvin. 1974. “A Framework for Representing Knowledge”. MIT-AI Laboratory, Memo 306. [En línea] Disponible en internet en: <<http://web.media.mit.edu/~minsky/papers/Frames/frames.html>> [con acceso el 04/09/2009]
 - [7] Davis, Randall – Shrobe, Howard – Szolovits, Peter. 1993. “What Is a Knowledge Representation?” AI Magazine, AAAI. [En línea] Disponible en internet en: <<http://www.aaai.org/aitopics/assets/PDF/AIMag14-01-002.pdf>> [con acceso el 04/08/2009]
 - [8] Grimm, Stephan – Hitzler, Pascal – Abecker, Andreas. “Knowledge Representation and Ontologies” FZI Research Center for Information Technologies, University of Karlsruhe. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/WBS/phi/pub/kr-onto-07.pdf>> [con acceso el 17/08/2009]

- [9] Herman, Ivan. “W3C Semantic Web Frequently Asked Questions”. W3C. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.w3.org/2001/sw/SW-FAQ>> [con acceso el 07/09/2009]
- [10] Harada, Eduardo. 2006. “Gödelitis: usos y abusos del Teorema de Gödel”. Elementos: Ciencia y cultura, vol. 13, número 064. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. Pp. 31-38. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/294/29406405.pdf>> [con acceso el 07/09/2009]
- [11] Alesso, Peter – Smith, Craig. 2006. “Thinking on the Web: Berners-Lee, Gödel and Turing”. Wiley-Interscience publication. ISBN-13: 978-0-471-76814-2
- [12] Newell, Allen. 1980. “The Knowledge Level”. American Association for Artificial Intelligence, Stanford University. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.aaai.org/aitopics/assets/PDF/AIMag02-02-001.pdf>> [con acceso el 23/08/2009]
- [13] Russell, Stuart - Norvig, Peter, 2004. “Inteligencia Artificial, Un Enfoque Moderno”. Segunda Edición. Pearson Prentice Hall, ISBN 84-205-4003-X
- [14] Nardi, Daniele – Brachman, Ronald. "An Introduction to Description Logics". [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.inf.unibz.it/~franconi/dl/course/dlhb/dlhb-01.pdf>> [con acceso el 17/10/2009]
- [15] Fernández, Raúl. “Representación del Conocimiento. Web Semántica.” Universidad Carlos III de Madrid. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/practicas/08-09/05.pdf>> [con acceso el 17/10/2009]

- [16] W3C. “W3C Semantic Web Activity”. W3C Semantic Web. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.w3.org/2001/sw/>> [con acceso el 15/05/2008]

V. PROYECTOS

En el capítulo anterior se han presentado algunas características de la representación del conocimiento como así también las limitaciones que lleva consigo. Sin embargo, muchos han sido los intentos de plasmar el conocimiento humano de manera tal que las computadoras puedan utilizarlo para razonar.

Por considerarse un aporte vital de la Inteligencia Artificial para la Web Semántica, a continuación se presentarán algunos de los proyectos más importantes que se han realizado en el área de la representación del conocimiento y el razonamiento sobre el mismo. Algunos de estos proyectos, como es el caso de OpenCyc, han comenzado a incursionar en el ámbito de la Web Semántica.

V.1. OpenCyc

OpenCyc es una versión Open Source de la base de conocimientos de Cyc. Consiste en una representación formalizada de una gran cantidad de conocimiento humano, el cual incluye hechos, reglas y heurísticas para razonar acerca de los objetos y eventos de la vida diaria.

La base de conocimientos se divide en microteorías, que consisten en grupo de afirmaciones que comparten un conjunto común de suposiciones. Algunas de estas microteorías se orientan a un dominio particular de conocimiento, nivel especial de detalle o un intervalo de tiempo determinado, entre otros. Las afirmaciones de una microteoría pueden ser contradictorias fuera de la misma, pero mejora el rendimiento del sistema Cyc permitiendo enfocar el proceso de inferencia. [8]

OpenCyc es una ontología de amplio espectro e incrementalmente comprensiva que describe cosas y sucesos del mundo en términos lógicos acerca de los cuales pueden razonar las computadoras. Su objetivo es brindar un vocabulario compartido para aplicaciones web, permitiéndoles razonar automáticamente respecto a ellos, como así también integrar el contenido de sitios y servicios web.

En la web, OpenCyc está disponible como un conjunto de direcciones web estables que pueden ser leídos tanto por las máquinas como por las personas. Las máquinas, mediante el uso del lenguaje OWL, mientras que las personas pueden acceder utilizando un navegador web.

Los conceptos y relaciones contenidos en OpenCyc han derivado de la base de conocimiento del sistema Cyc. Desde 1984, el proyecto Cyc ha tenido como propósito capturar y representar conocimiento de sentido común (conceptos del mundo real y las relaciones entre ellos) en una forma que las computadoras puedan utilizarlos para razonar. La ontología OpenCyc contiene descripciones de alrededor 150.000 conceptos desde un ámbito muy general a aquellos muy específicos. Una característica que la distingue de otras ontologías es que ofrece miles de tipos de relaciones para vincular conceptos. [5]

La base de conocimientos de Cyc es cien veces más grande que la de OpenCyc, y como expresó Feigenbaum:

“El conductor del poder de los sistemas inteligentes es el conocimiento que los sistemas tienen acerca de su universo de discurso,... Cyc no tiene sólo la base de conocimientos más amplia del mundo, sino la mejor representada desde un punto de vista técnico.”¹⁷

El motor de inferencia de Cyc utiliza deducción lógica general con mecanismos de inferencia de inteligencia artificial bien conocidos como herencia, clasificación automática, y otros. Cyc realiza la mejor primera búsqueda sobre el espacio de prueba usando un conjunto de heurísticas propietarias y microteorías para optimizar la inferencia restringiendo dominios de búsqueda.

Dado que la base de conocimientos de Cyc abarca cientos de miles de reglas, muchos enfoques tomados por otros motores de inferencia, como sistemas expertos basados en marcos, Prolog, RETE, etc., no escalan a bases de conocimientos de este tamaño.

¹⁷ Feigenbaum, Edward. Enero, 2001. Cita disponible en: <http://www.cyc.com/technology/whaticyc>

Cyc también incluye diversos módulos de inferencia de propósito especial para manejar clases específicas de inferencia, por ejemplo razonamiento de igualdad, razonamiento temporal y razonamiento matemático.

El lenguaje de representación de Cyc se llama CycL, el cual es extenso y sumamente flexible. Se basa en cálculo de predicado de primer orden, con extensiones para manejar igualdad, razonamiento por defecto y algunas características de segundo orden. Utiliza una forma de circunscripción que abarca suposición de nombres únicos y puede usar suposición de mundo cerrado cuando es apropiado. [6]

Mediante el uso de términos para representar contenido web, se permite una verdadera interoperabilidad semántica. Si bien tecnologías estándares como Resource Description Framework y Ontology Web Language conforman un marco de trabajo unificado para intercambiar información significativa entre diversas aplicaciones, sin la presencia de un vocabulario que pueda ser compartido, sus beneficios se ven restringidos. Esta restricción puede ser eliminada mediante el uso de la ontología conceptual de OpenCyc, la cual provee una gran red de términos, de forma tal que puedan ser entendidos tanto por las computadoras como por las personas. Esto abre la posibilidad de crear aplicaciones web que puedan entender y razonar acerca de contenido web, ya sean datos o metadatos, personales o corporativos.

Douglas Lenat afirma que, en el proyecto Cyc, se ha estado trabajando para crear representaciones de conocimiento y habilidades de razonamiento para software inteligente que colabora con los usuarios, pero que si bien los resultados han sido usados por pocos años, con el reciente crecimiento de la Web Semántica también ha aumentado la necesidad y oportunidad de tener un mayor impacto. Además, sostiene que representando y compartiendo el conocimiento en un mismo lenguaje, las aplicaciones de la Web Semántica pueden ser mucho más poderosas.

Como parte del crecimiento de la base de conocimiento OpenCyc, se anticipan características de integración con otras ontologías y marcos de trabajo para la Web Semántica, además de otorgar mayor comprensión y actualización. [5]

V.2. DBpedia

Otra incursión en el área de la representación del conocimiento y las tecnologías de la Web Semántica es la del proyecto DBpedia, el cual consiste en extraer información estructurada de Wikipedia con el fin de que la misma sea accesible en la Web. Para ello, con la información extraída se construye una base de conocimientos que describe entidades. DBpedia declara un identificador único para cada entidad que puede referenciarse en la Web en una descripción RDF, incluyendo definiciones legibles por el hombre, relaciones a otros recursos, clasificaciones en cuatro tipos de jerarquías, hechos varios y vínculos al nivel datos a otros orígenes de datos. [9]

Entre algunas de las ventajas de DBpedia sobre otras bases de conocimiento se mencionan: abarca varios dominios de conocimiento, representa un acuerdo real comunitario, se actualiza automáticamente según los cambios de Wikipedia, soporta múltiples idiomas, y es accesible a través de la web. Se considera, además, que DBpedia contribuye al desarrollo de la llamada Web de Datos gracias a tres características: [9]

- El desarrollo de un marco de extracción de información que transforma el contenido de Wikipedia en una base de conocimientos para múltiples dominios.
- La definición de un identificador para cada entidad de DBpedia que puede ser referenciado en la web.
- La publicación de vínculos RDF que apuntan desde DBpedia a otros orígenes de datos web.

Para obtener los datos de Wikipedia, el proyecto DBpedia extrae información para volcarla en una base de conocimientos. Este proceso es realizado por un marco de extracción que cuenta con varios componentes, según el tipo de información a obtener. Los principales elementos son: *colecciones de páginas* que representan abstracciones de los recursos Wikipedia, *destinos* que almacenan triplas RDF; *extractores* que convierten determinado tipo de marcado wiki en triplas, y *parsers* o *analizadores* que determinan tipos de datos y convierten valores entre distintas unidades de medida. El proceso de extracción puede ser el llamado *dump-based extraction*, con copias anteriores de Wikipedia, ó puede ser la llamada *live extraction* que recupera la versión actual de un artículo.

Como se mencionó anteriormente, existe un identificador único para cada entidad, el cual es un URI que sigue un determinado patrón: `http://dbpedia.org/resource/Name`, donde *Name* se corresponde con el mismo utilizado en Wikipedia, para identificar los artículos.

Para clasificar las entidades, se dispone de cuatro esquemas de clasificación: el utilizado por Wikipedia (con alrededor de 415.000 categorías que no poseen forma de jerarquía), la ontología de DBpedia (con 170 clases), el esquema YAGO (con 286.000 clases), ó el esquema UMBEL (derivado de OpenCyc, con 20.000 clases).

Para describir las entidades se cuenta con un conjunto de propiedades generales y un conjunto de propiedades *infobox*. Las propiedades generales constan de una etiqueta, una abstracción corta y una más extensa, un vínculo al artículo de Wikipedia correspondiente, coordenadas geográficas en caso de corresponder, un vínculo a una imagen relacionada a la entidad, vínculos a páginas externas, y vínculos a otras entidades relacionadas. En cuanto a las propiedades *infobox*, son las que resultan de extraer información muy específica indicada en la entidad correspondiente en Wikipedia. [9]

El acceso a la base de conocimientos a través de la web puede realizarse por cualquiera de los siguientes mecanismos:

- *Linked Data*: es un mecanismo de publicación de datos RDF en la Web que cuenta con URIs como identificadores de recursos y el protocolo HTTP para recuperar descripciones de recursos. Estos identificadores están preparados para devolver tanto descripciones RDF si son accedidos por agentes de la Web Semántica, como simples vistas HTML si es que se accede con navegadores web habituales.
- *SPARQL*: es posible realizar consultas a la base de conocimientos mediante SPARQL. Para evitar sobrecargas en el servicio, se establecen límites a la complejidad de las consultas y al tamaño de los resultados.
- *RDF Dumps*: además de los dos anteriores, se ofrecen cuadros de información (infobox) extraídos de Wikipedia. Éstos pueden ser utilizados como base para fusionar conocimiento entre distintas ediciones de Wikipedia o desarrollar aplicaciones que se basen en determinado conocimiento de Wikipedia.

- *Lookup index*: para una etiqueta dada, DBpedia propone un índice URI que pueda utilizarse para vincular datos.

La base de conocimientos contiene vínculos RDF que apuntan tanto a información adicional relacionada a las entidades de DBpedia como a meta información de ítems que describen una entidad. Dichos vínculos forman la base para:

- Navegar la Web de Datos. Permiten la navegación desde datos que están dentro de un origen de datos, a datos relacionados en otras fuentes. También favorecen la utilización por parte de aplicaciones que inspeccionan las páginas web de forma automatizada.
- Fusionar y utilizar datos web. Los links RDF pueden usarse como base para unir datos de distintas fuentes y así generar vistas integradas sobre los mismos.
- Comentar contenido web. Los URIs de las entidades pueden emplearse para comentar contenido web clásico, como entradas de blogs o noticias, y también referencias a lugares, gente o empresas.

V.3. Semantic MediaWiki

Otro proyecto vinculado al concepto de Web Semántica es Semantic MediaWiki (SMW). MediaWiki es el motor conocido por dar soporte a Wikipedia, la enciclopedia libre que mucho éxito ha tenido en la web. SMW es una extensión de MediaWiki. Esta última permite buscar, etiquetar, evaluar y compartir contenido wiki. SMW, a diferencia de las wikis tradicionales, incorpora comentarios semánticos mediante marcas adicionales en el texto wiki, otorgando una manera de agregar metadatos acerca de conceptos y relaciones. Esto las hace funcionar como una base de datos colaborativa. A su vez, esta forma de etiquetado simplifica la conversión de tales comentarios en triplas del tipo sujeto-predicado-objeto almacenadas como RDF. En la SMW, las entidades son representadas mediante una página individual, a la cual pueden agregarse metadatos. Así, la página representa el recurso sujeto de la tripla, la cual es asociada en comentarios o anotaciones semánticas con otros recursos y valores que representan el predicado y objeto. [10] [12]

Semantic MediaWiki está estrechamente relacionada con las tecnologías de la Web Semántica, siendo su principal objetivo lograr la integración de dichas tecnologías con patrones de uso ya establecidos en el sistema MediaWiki existente. Una característica importante de las wikis semánticas es que la información es dinámica y se actualiza de manera descentralizada, permitiendo heterogeneidad, pero a la vez tienen la capacidad de integrar vistas heterogéneas. [13]

Algunos puntos que caracterizan estas relaciones son: [11] [13]

- Las tecnologías de la Web Semántica permiten compartir el conocimiento de la wiki con aplicaciones externas, codificándolo en formato OWL/RDF. En este caso, los artículos son individuos OWL, las categorías son clases, y las relaciones son propiedades entre artículos.
- Utilización de vocabularios de ontologías externas, vinculando páginas wiki con elementos de ontologías existentes. Esto es posible, a pesar de que generalmente las sentencias en la wiki hacen referencia a conceptos y propiedades declaradas dentro de la misma.
- Importación de ontologías, para incorporar conocimiento semántico existente dentro de la wiki desde documentos OWL DL. Si bien no se podrán conseguir textos complejos legibles por el hombre, pueden lograrse buenos resultados agregando conocimiento adicional.
- Servicio de consulta SPARQL. Es posible habilitar una vía de acceso mediante este lenguaje para realizar consultas sobre el contenido de la wiki.
- Reutilización externa. Es factible la utilización de numerosas herramientas, que procesen OWL/RDF, con la Semantic MediaWiki.

SMW ha ido creciendo desde que surgió como un proyecto de investigación académico. Actualmente es utilizada en cientos de sitios web, proyectos biomédicos, agencias de gobierno, y con implementaciones en diversos idiomas. Además, numerosas consultoras utilizan SMW como parte de las soluciones que ofrecen. [10]

V.4. Proyecto Halo

Consiste en un intento de aplicar técnicas de Inteligencia Artificial al problema de producir un sistema de conocimiento (al que llamaron “Aristóteles Digital”) con capacidad de instruir y evaluar a estudiantes en química, además de asistir a científicos y otros en sus trabajos.

El proyecto piloto, iniciado en 2002 por Vulcan Inc. se basó en la construcción de un sistema capaz de responder preguntas de exámenes de primer año del nivel universitario en sub áreas de química. Para ello, fueron seleccionadas las empresas Cycorp, Ontoprise y SRI International para que alimentaran sus bases de conocimiento con el contenido de un libro de química. Luego de retener y aislar los sistemas, cada uno de los equipos debía codificar un cuestionario de química en sus respectivos lenguajes formales: CycL de Cycorp; KM de SRI y F-Logic de Ontoprise. Las respuestas de cada uno de estos sistemas fueron evaluadas en base a al cuestionario de 100 preguntas. Este estudio piloto arrojó como resultado que el sistema de conocimiento era capaz de producir resultados comparables al del hombre en los exámenes con un 40 a 50 por ciento de respuestas correctas. Sin embargo, el proyecto costó diez mil dólares por página y un análisis detallado indicó como principales motivos de fallas las siguientes características: [1][2][3]

1. Modelado de conocimiento: la aptitud de los ingenieros del conocimiento para modelar información y escribir axiomas.
2. Lenguaje de modelado e implementación de conocimiento: la capacidad del lenguaje para representar adecuadamente los axiomas.
3. Razonamiento e Inferencia: la capacidad del motor de inferencia para encontrar lo requerido dentro de la base de conocimiento
4. Aprendizaje y formación del conocimiento: la capacidad del sistema para adquirir y unir conocimiento mediante técnicas automatizadas y semi automatizadas.
5. Escalabilidad: la posibilidad de incrementar el conocimiento de la base sin que resulte costoso.
6. Administración del conocimiento: la capacidad del sistema para mantener, registrar cambios, evaluar, organizar, documentar; y la aptitud de los ingenieros del conocimiento para buscar conocimiento.
7. Administración de consultas: la aptitud del sistema para responder consultas de manera consistente.

8. Justificación de respuestas: la capacidad del sistema para brindar justificaciones en el contexto correcto.
9. Métricas de calidad: la capacidad del sistema para determinar qué tan buena es la base de conocimiento en un punto dado de su evolución.
10. Meta posibilidades: la capacidad del sistema para utilizar meta razonamiento o meta conocimiento.

En la segunda fase del proyecto, conocida como AURA e iniciada en 2004, el objetivo se centró en desarrollar herramientas que permitieran, a aquellos expertos en el dominio sin experiencia en ingeniería del conocimiento, formular, depurar, ampliar, validar y consultar bases de conocimiento. El software resultante debería ser capaz de responder un alto porcentaje de preguntas y proveer explicaciones apropiadas de cómo fueron obtenidas las respuestas. La evaluación demostró que los estudiantes podían generar bases de conocimiento que respondieran en forma correcta en un 40 por ciento. La siguiente evaluación, en 2008, evidenció una mejora que alcanzó el 70 por ciento de respuestas correctas.

Además, el Proyecto Halo ha patrocinado a Ontoprise para desarrollar extensiones semánticas a MediaWiki, el software en el que corre Wikipedia. El desarrollo consiste en un entorno basado en comunidades para escribir ontologías y crear wikis¹⁸ mejoradas semánticamente. [1][2]

Vulcan Inc., además ha desarrollado un nuevo lenguaje de reglas semántico y sistema de razonamiento llamado SILK con importantes adelantos, como el uso de razonamiento de orden más alto sobre la web.

SILK (Semantic Inferencing for Large Knowledge) es un lenguaje y sistema de representación del conocimiento que incluye un lenguaje, razonador, interfaz de usuario y capacidades de intercambio.

Como principal característica, puede mencionarse que SILK extiende las capacidades de OWL 2 RL, SPARQL y RIF. Incluye:

¹⁸ Wiki: sitio web cuyas páginas web pueden ser editadas por múltiples voluntarios a través del navegador web. <http://es.wikipedia.org/wiki/Wiki>

- Administrador de conflictos por defecto, para hacer frente a la calidad del conocimiento y el contexto.
- Meta razonamiento flexible y de alto orden, para elevar metadatos a meta conocimiento.
- Acciones y eventos para activar el conocimiento, como reglas de producción y modelos de procesos.

En cuanto a la sintaxis y semántica de SILK, han sido establecidas en base a RuleML, Lenguajes de Servicios para la Web Semántica (SWSL), FLORA-2, Rule Interchange Format (RIF), y sus predecesores.

Otra de las características es que incluye casos de uso y requisitos en áreas como políticas de negocios, acceso a ontologías, comercio electrónico y biomédica. [4]

V.5. Proyecto Open Mind Common Sense

Open Mind Common Sense (OMCS) es un proyecto de inteligencia artificial iniciado en 1999 por Marvin Minsky, Push Singh y Catherine Havasi, entre otros, que ha ido recolectando conocimiento de sentido común brindado por voluntarios a través de Internet desde el año 2000. Desde entonces, se han ingresado 750.000 piezas de información, tanto en la forma de texto libre como estructurado. Dicho conocimiento es representado en una red semántica que puede ser interpretada por máquinas y que se conoce como ConceptNet, la cual ha sido construida automáticamente y cuenta con 150.000 nodos. ConceptNet 3, la versión más reciente, mejora la adquisición de conocimiento y su adaptación a lenguaje natural.

El proyecto OMCS actúa como una solución distribuida al problema de adquisición de conocimiento de sentido común, permitiendo al público general sin entrenamiento o conocimientos de computación ingresar datos. Aunque el sistema permite el ingreso de texto libre, actualmente se apunta a recolectar datos a través de marcos semi-estructurados.

ConceptNet describe el contenido mediante grafos de nodos que representan frases del lenguaje natural mediante relaciones del tipo IsA, PartOf y UsedFor (EsUn, ParteDe y UsadoPara, respectivamente), utilizando actualmente un total de 20 tipos de estas relaciones. Los nodos básicos de esta red semántica son los conceptos, aspectos del mundo de los cuales las personas hablan en lenguaje natural. Estos conceptos corresponden a los componentes seleccionados de las sentencias de sentido común que ingresan los usuarios, y pueden ser sustantivos, verbos, adjetivos o preposiciones.

Los conceptos son conectados mediante afirmaciones que representan relaciones entre ellos. Las afirmaciones mantienen una conexión con el lenguaje natural preservando una referencia a la sentencia original que la generó, las subcadenas de la sentencia que produjo cada uno de sus conceptos y el marco de la sentencia que es completado por sus conceptos. Así, si la computadora produce nuevas afirmaciones sin la intervención del usuario, puede seguir el ejemplo de otras para expresar esta nueva afirmación en lenguaje natural. Otra característica es que las afirmaciones poseen una puntuación para medir su confiabilidad. Esta puntuación puede variar por la intervención del usuario que hace una evaluación de sentencias existentes ó, implícitamente cuando varios usuarios de forma independiente ingresan sentencias que concuerdan con la misma afirmación. La puntuación resulta útil para los algoritmos de razonamiento, pudiendo determinar cierto grado de confiabilidad de las afirmaciones.

Comparada con otros recursos similares, se considera que ConceptNet es más compatible con WordNet o BSO que con Cyc, ya que resulta difícil igualar la estricta representación lógica de Cyc con la representación en lenguaje natural de ConceptNet. [7]

V.6. Wolfram Alpha

Wolfram Alpha es un motor de conocimiento computacional que genera respuestas a consultas reales haciendo cálculos sobre su base de conocimientos interna, en lugar de buscar en la web y devolver vínculos. [14] Si bien originalmente fue pensado para utilizarse en áreas como computación o matemáticas, la amplitud de dominios que abarca ha ido creciendo, en parte gracias a la colaboración de científicos e ingenieros, y técnicos que especificaron el conocimiento de manera que pueda ser procesado. Así, representa un claro ejemplo de web con significado.

El principal objetivo de Wolfram Alpha es lograr que todo conocimiento sistemático sea computable y accesible de forma inmediata. Para ello, se implementan modelos, métodos y algoritmos conocidos y así poder computar lo que pueda ser computado acerca de cualquier cosa.

Valiéndose de entradas sin un formato específico por parte del usuario, brinda resultados valiosos y los presenta de manera clara. De esta forma, se apunta a otorgar conocimientos y habilidades de nivel experto a las personas. Actualmente, Wolfram Alpha cuenta con más de diez trillones de datos, más de cincuenta mil tipos de algoritmos y modelos, y más de diez mil dominios para las cuales se otorgan capacidades lingüísticas. Construido sobre *Mathematica*, creación de Wolfram Research, Wolfram Alpha se vale de las más recientes tecnologías web y de cómputo en paralelo, incluidos *webMathematica* y *gridMathematica*. A continuación se describen estas tres herramientas vinculadas a Wolfram Alpha: [15]

- *Mathematica*: considerado un sistema de álgebra computacional, también es un lenguaje de programación de propósito general. Como programa, es utilizado en áreas científicas, computacionales, de ingeniería, y matemáticas. *Mathematica* cumple tres papeles importantes en Wolfram Alpha. Primero, su lenguaje simbólico general provee el marco para representar el tan diverso conocimiento de Wolfram Alpha. Segundo, su web de algoritmos incorporados brinda la base computacional que hace factible la implementación de métodos y modelos de tantos campos de estudio. Tercero, la fuerza de *Mathematica* como producto de la ingeniería del software y plataforma de desarrollo, posibilita adquirir los logros técnicos de Wolfram Alpha y distribuirlos ampliamente.⁷
- *webMathematica*: basado en *Mathematica*, es una herramienta que permite implementar sitios web interactivos con resultados automáticos para cada entrada.
- *gridMathematica*: herramienta que incrementa los beneficios de *Mathematica* gracias a la inclusión de kernels de computación y herramientas automatizadas

de distribución en red. Esto permite ejecutar más tareas en paralelo en más CPUs, tanto locales como remotas.

A modo de ejemplo, en el anexo II se muestran algunas capturas de pantalla de las respuestas otorgadas por el motor de Wolfram Alpha, ante consultas realizadas.

V.7. Referencias

- [1] Project Halo. “Project Halo”. Vulcan Inc. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://www.projecthalo.com/default.htm>> [con acceso el 03/11/2009]
- [2] Wikipedia. “Project Halo”. [En línea]. Disponible en internet en: <http://en.wikipedia.org/wiki/Project_Halo> [con acceso el 03/11/2009]
- [3] Friedland, Noah – Allen, Paul. “The Halo Pilot: Towards A digital Aristotle”. Vulcan Inc. [En línea]. Disponible en internet en: <http://www.projecthalo.com/content/docs/halopilot_vulcan_finalreport.pdf> [con acceso el 03/11/2009]
- [4] Grosz, Benjamin – Dean, Mike – Kifer, Michael. “The SILK System: Scalable Higher-Order Defeasible Rules”. Vulcan Inc. [En línea]. Disponible en internet en: <<http://silk.semwebcentral.org/silk-ruleml-2009-challenge.pdf>> [con acceso el 03/11/2009]
- [5] Cycorp, Inc. “OpenCyc Brings Meaning to the Web”. Cycorp, Inc. [En línea] Disponible en internet en: <<http://cyc.com/cyc/company/news/OpenCyc%20Brings%20Meaning%20to%20the%20Web>> [con acceso el 07/11/2009]
- [6] Cycorp, Inc. “How does Cyc reason?”. Cycorp, Inc. [En línea] Disponible en internet en: <http://www.cyc.com/cyc/technology/technology/whatis_cyc_dir/howdoes_cyc_reason> [con acceso el 07/11/2009]

- [7] Havasi, Catherine – Speer, Robert – Alonso, Jason. “ConceptNet: A Lexical Resource for Common Sense Knowledge”. Brandeis University, MIT EECS, MIT Media Lab. [En línea] Disponible en internet en: <http://pubs.media.mit.edu/pubs/papers/top.pdf> [con acceso el 05/11/2009]
- [8] Cycorp, Inc. “the Cyc Knowledge Base”. Cycorp, Inc. [En línea] Disponible en internet en: http://www.cyc.com/cyc/technology/whatisyc_dir/whatsincyc [con acceso el 10/11/2009]
- [9] Bizer, Christian – Lehmann, Jens – Kobilarov, Georgi – Auer, Sören – Becker, Christian – Cyganiak, Richard – Hellmann, Sebastian. 2009. “DBpedia – A Crystallization Point for the Web of Data”. [En línea] Disponible en internet en: <http://www.wiwiss.fu-berlin.de/en/institute/pwo/bizer/research/publications/Bizer-et-al-DBpedia-CrystallizationPoint-JWS-Preprint.pdf> [con acceso el 16/11/2009]
- [10] Semantic-mediawiki.org. “Help: Introduction to Semantic MediaWiki”. Semantic-mediawiki.org. [En línea] Disponible en internet en: http://semantic-mediawiki.org/w/index.php?title=Help:Introduction_to_S [con acceso el 21/11/2009]
- [11] Ontoprise. “SMW+ User Manual”. Ontoprise. [En línea] Disponible en internet en: http://semantic-mediawiki.org/wiki/PDF_Version_of_SMW_Manual_Available [con acceso el 21/11/2009]
- [12] Millard, Ian – Jaffri, Afraz – Glaser, Hugh – Rodriguez, Benedicto. 2006. “Using a Semantic MediaWiki to Interact with a Knowledge-Based Infrastructure”. School of Electronics and Computer Science, University of Southampton. [En línea] Disponible en internet en: <http://eprints.aktors.org/533/01/ekaw06.pdf> [con acceso el 21/11/2009]

- [13] Krötzsch, Markus – Vrandečić, Denny – Völkel Max. “Semantic MediaWiki”. Universität of Karlsruhe, Alemania. [En línea] Disponible en internet en: http://korrekt.org/papers/KroetzschVrandecicVoelkel_ISWC2006.pdf [con acceso el 21/11/2009]
- [14] Wolfram Alpha Web Site, 2009. “Wolfram Alpha”. Wolfram Alpha LLC. [En línea] Disponible en internet en: <http://www.wolframalpha.com> [con acceso el 08/12/2009]
- [15] Wolfram Research, Inc. “Wolfram Research: Mathematica, software científico y técnico”. Wolfram Research, Inc. [En línea] Disponible en internet en: <http://www.wolfram.com> [con acceso el 08/12/2009]

CONCLUSION

Los resultados obtenidos hasta el momento en cuanto a la realización de la Web Semántica no son muy significativos si se observa desde la óptica más ambiciosa, la de implementarla universalmente. De todos modos, se ha conseguido mucho en lo que respecta a desarrollo de herramientas, estándares e infraestructura necesarios para que la Web Semántica no sea sólo una esperanza. Más allá de lo visto en los capítulos III y V, existen numerosos proyectos y experiencias que ponen a prueba las herramientas y las ideas. Varias de las propuestas vistas en este trabajo critican y resaltan algunos de los inconvenientes que debe afrontar la Web Semántica, mientras que otras presentan alternativas al enfoque clásico impulsado por el W3C.

Si bien el enfoque presentado a lo largo de este documento corresponde al impulsado por Tim Berners-Lee, director del W3C e “inventor” de la navegación web, no implica que sea él quien logre el objetivo de la creación de la Web Semántica. Es más probable que se alcance gracias al esfuerzo de toda una comunidad de investigadores que aporten nuevas ideas, permitiendo replantear las existentes, resaltando sus beneficios o debilidades, y contribuyendo a una retroalimentación que conduzca a la mejora de las mismas.

También es indispensable no dejar de considerar la vasta experiencia que puede aportar la Inteligencia Artificial en áreas como la representación del conocimiento o extracción de información de ontologías. Tampoco omitir aquello que la lógica ha demostrado respecto al lenguaje y las representaciones acerca del mundo real. Estos aportes deberían permitir definir o limitar el alcance de aplicación de la Web Semántica, ya que como coinciden varios autores, existe cierto grado de confusión en cuanto al objetivo y definición de ciertos componentes, en especial las capas superiores, algunas de las cuales aún no cuentan con especificaciones de las tecnologías que requerirán o la función exacta que cumplirán.

Aún resta mucho camino por delante, desde la creación de mejores tecnologías hasta el desarrollo de aplicaciones reales que sigan llevando a la práctica los principios de la Web Semántica, haciendo hincapié en el uso de más ontologías que pueblen la web.

Hay que destacar también que existe un elevado interés desde el ámbito corporativo, académico y el sector público por lograr que la Web Semántica sea posible, dado que de lograrse conformaría un elemento importante en el progreso de organización de la información.

Hay que tener en cuenta que en el corto y mediano plazo no se producirá un cambio significativo que permita afirmar que se está ante la Web Semántica. La Web como se la conoce hoy seguirá existiendo, por eso el objetivo menos ambicioso a lograr debería ser el de seguir mejorando la calidad y organización de los contenidos, los agentes de búsquedas, los servicios web, y todos aquellos aspectos relacionados con la presentación y recuperación de información de la web. Interesantes resultan algunos de los proyectos presentados en el capítulo V, y tal vez allí resida la clave que permita alcanzar logros más significativos, utilizando bases de conocimientos de sentido común y creando agentes automatizados que las utilicen para descubrir nuevos conocimientos.

GLOSARIO

- Agente: ente que razona. En informática, se pretende que sea capaz de adaptarse al entorno, tener autonomía, persistencia y posibilidad de alcanzar objetivos determinados.
- Clase: conjunto de cosas de una misma especie. Grupos de conceptos que comparten ciertas características.
- Concepto: es una unidad cognitiva de significado, una idea abstracta o mental que suele definirse como una "unidad de conocimiento".
- Contexto: es el entorno lingüístico que acompaña a una palabra, expresión o enunciado, y del cual puede depender el sentido de los mensajes. Puede definirse también como el conjunto de circunstancias en que se produce el mensaje: lugar, tiempo, cultura del emisor y receptor, y que permiten su comprensión.
- Dominio: también llamado dominio o universo de discurso, es el conjunto de cosas de las cuales se habla en un contexto determinado.
- Frame o marco: en Inteligencia Artificial, estructura de datos que contiene una descripción general de un objeto, que se deriva de conceptos básicos y de la experiencia.
- HTML: Hyper Text Markup Language (Lenguaje de Marcado de Hiper Texto). Se usa para construir páginas web, y para describir la estructura y el contenido en forma de texto, así como para complementar el texto con objetos tales como imágenes.
- Instancia: se produce con la creación de un objeto perteneciente a una clase (instanciar una clase), que hereda sus atributos y propiedades.

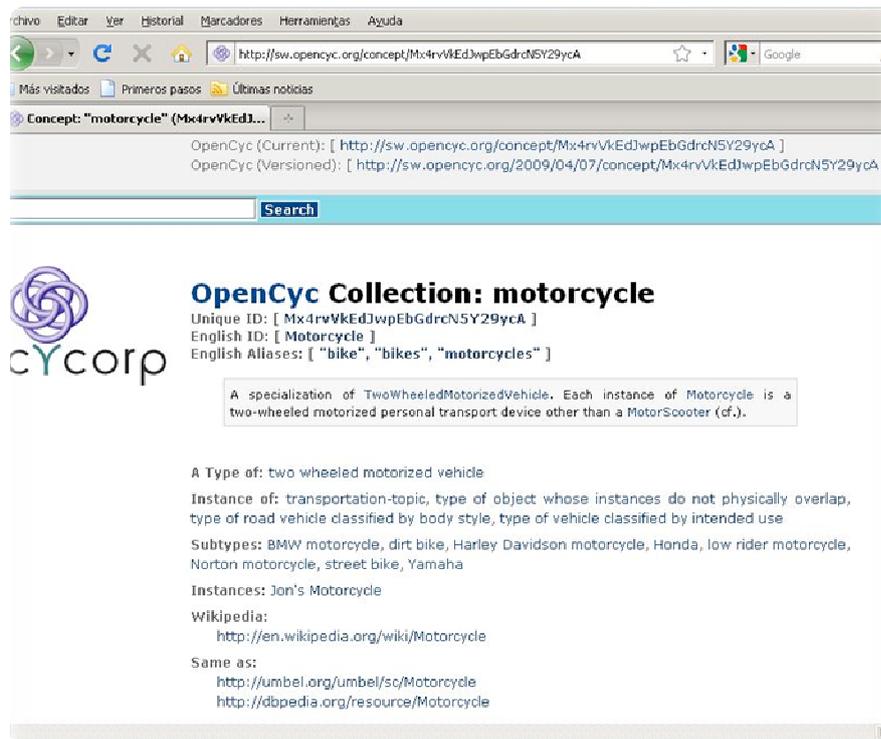
- ISO: International Organization for Standardization (Organización Internacional para la Estandarización). Organismo encargado de promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación, comercio y comunicación.
- Meta-dato: datos que describen otros datos.
- Ontología: es una especificación explícita y formal de una conceptualización compartida.
- OSI: Open Systems Interconnection (Interconexión de Sistemas Abiertos). Fue el modelo de red descriptivo creado por la Organización Internacional para la Estandarización.
- OWL: Ontology Web Language (Lenguaje de Ontologías Web). Lenguaje de marcado para publicar y compartir datos usando ontologías.
- PML: Proof Markup Language (Lenguaje de Marcado de Pruebas). Ayuda a codificar y compartir pruebas en RDF.
- Protocolo: convención estándar que permite o controla la conexión, comunicación y transferencia de datos entre dos puntos.
- RDF: Resource Description Framework (Marco de Descripción de Recursos). Es un lenguaje para especificar metadatos, haciendo más fácil el intercambio de información de documentos web entre aplicaciones.
- RDFS: Resource Description Framework Schema (Esquema RDF). Extensión semántica de RDF que permite definir meta-clases y meta-propiedades para describir clases, propiedades y otros recursos.
- RIF: Rule Interchange Format (Formato de Intercambio de Reglas). Conjunto de lenguajes o dialectos para intercambiar reglas entre distintos sistemas.

- RuleML: Rule Markup Language (Lenguaje de Marcado de Reglas). Lenguaje para definir reglas de inferencia.
- Sintaxis: parte de la gramática que estudia la forma en que se combinan las palabras.
- Semántica: se refiere a los aspectos del significado, sentido o interpretación del significado de un elemento, símbolo, palabra o representación formal.
- SPARQL: lenguaje de consulta para RDF y protocolo para acceder a datos.
- SWRL: Semantic Web Rule Language (Lenguaje para la Web Semántica). Lenguaje que permite definir reglas de inferencia.
- Taxonomía: clasificación, según ciertas normas o reglas de ordenamiento.
- Unicode: estándar para representar caracteres digitalmente, independientemente del idioma.
- URI: Unique Resource Identifier (Identificador Único de Recursos). Cadena corta de caracteres que permite identificar inequívocamente un recurso abstracto o físico.
- URL: Uniform Resource Locator (Localizador Uniforme de Recursos). Secuencia de caracteres para nombrar recursos por su localización.
- XML: eXtensible Markup Language (Lenguaje de Marcas Extensible). Metalenguaje que permite incluir etiquetas en documentos web.
- XMLS: eXtensible Markup Language Schema (Esquema XML). Lenguaje de esquema que permite definir la estructura y restricciones de un documento XML.

ANEXO I. EJEMPLO DE DEFINICION DE CONCEPTO EN OPENCYC

El siguiente es el resultado de la búsqueda del concepto “motorcycle” en la base de conocimientos OpenCyc para la Web Semántica. El acceso al formulario de consulta sobre OpenCyc se encuentra disponible en <http://sw.opencyc.org/>

La primera figura muestra la declaración del concepto en la forma que pueden leerlo las personas a través de un navegador web.



The screenshot shows a web browser window with the address bar containing the URL <http://sw.opencyc.org/concept/Mx4rvVKEdJwpEbGdrcN5Y29ycA>. The page title is "Concept: 'motorcycle' (Mx4rvVKEdJwpEbGdrcN5Y29ycA)". Below the title, there is a search bar and the OpenCyc logo. The main content area displays the following information:

OpenCyc Collection: motorcycle
Unique ID: [Mx4rvVKEdJwpEbGdrcN5Y29ycA]
English ID: [Motorcycle]
English Aliases: ["bike", "bikes", "motorcycles"]

A specialization of TwoWheeledMotorizedVehicle. Each instance of Motorcycle is a two-wheeled motorized personal transport device other than a MotorScooter (cf.).

A Type of: two wheeled motorized vehicle
Instance of: transportation-topic, type of object whose instances do not physically overlap, type of road vehicle classified by body style, type of vehicle classified by intended use
Subtypes: BMW motorcycle, dirt bike, Harley Davidson motorcycle, Honda, low rider motorcycle, Norton motorcycle, street bike, Yamaha
Instances: Jon's Motorcycle

Wikipedia:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Motorcycle>

Same as:
<http://umbel.org/umbel/sc/Motorcycle>
<http://dbpedia.org/resource/Motorcycle>

En el ejemplo puede verse que se declara el término “motorcycle” como una colección, indicando un identificador único para el mismo, un identificador en idioma inglés, y los alias correspondientes.

Luego, se incluyen una descripción del concepto y algunas propiedades como el tipo e instancias a la que pertenece, subtipos e instancias que dependen de él y, por último, referencias al concepto correspondiente en Wikipedia y en las bases de conocimiento UMBEL y DBpedia.

Las figuras siguientes muestran parte del código en XML de la página anterior, que debería ser interpretado por las máquinas. Se han agregado comentarios a las principales secciones describiendo el tipo de dato que declara cada porción de código.

<pre> ?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?> ?xml-stylesheet type="text/xsl" href="http://sw.opencyc.org xsl/OpenCycOWLCollectionDisplayLatest.xsl"?> !DOCTYPE rdf:RDF [<!ENTITY ocyc "http://sw.opencyc.org/concept/" > <!ENTITY cyc "http://sw.cyc.com/concept/" > <!ENTITY rdf "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" > <!ENTITY rdfs "http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" > <!ENTITY xsd "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" > <!ENTITY owl "http://www.w3.org/2002/07/owl#" >] rdf:RDF xml:base="http://sw.opencyc.org/concept/" xmlns="http://sw.opencyc.org/concept/" xmlns:cycAnnot="http://sw.cyc.com/CycAnnotations_v1#" xmlns:rdf="&rdf;" xmlns:rdfs="&rdfs;" xmlns:owl="&owl;" xmlns:xsd="&xsd;" </pre>	<p>El encabezado del documento declara la versión de xml y la hoja de estilo a utilizar.</p> <p>Además, declara el documento RDF y los espacios de nombre XML de los términos usados en el documento.</p>
<pre> <owl:Ontology rdf:about="http://sw.opencyc.org/concept/" <owl:versionInfo>2009/04/07</owl:versionInfo> <rdfs:comment xml:lang="en"> OpenCyc Knowledge Base Copyright© 2001-2009 Cycorp, Inc., http://www.cyc.com/, Austin, TX, USA This file contains an OML representation of information contained in the OpenCyc Knowledge Base. The content of this OML file is licensed under the Creative Commons Attribution 3.0 license whose text can be found at http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode. The content of this OML file, including the OpenCyc content it represents, constitutes the "Work" referred to in the Creative Commons license. The terms of this license equally apply to, without limitation, renamings and other logically equivalent reformulations of the content of this OML file (or portions thereof) in any natural or formal language, as well as to derivations of this content or inclusion of it in other ontologies. Mappings between OpenCyc terms and Wikipedia article names provided by Olana Medelyan and Catherine Legg, University of Waikato, NZ under a Creative Commons Attribution 3.0 license. </rdfs:comment> </owl:Ontology> </pre>	<p>El encabezado de la ontología contiene información sobre la ontología misma, como el URI que la identifica, versión y un comentario redactado.</p>

```

<owl:Class rdf:about="Mx4rvVKEdJwpEbGdrcN5Y29ycA">
  <rdfs:label xml:lang="en">motorcycle</rdfs:label>
  <rdfs:comment xml:lang="en">A specialization of <!--a href=#
  http://sw.opencyc.org/concept/Mx4rGg3iGoiLEdqAAAACsOuFOQs" class=#
  not;cyc_terms" >TwoWheeledMotorizedVehicle</a> . Each instance of
  <!--a href=#"http://sw.opencyc.org/concept/Mx4rvVKEdJwpEbGdrcN5Y29ycA"
  class=#" cyc_terms" >Motorcycle</a> is a two-wheeled motorized
  personal transport device other than a <!--a href=#"http://sw.opencyc.org
  concept/Mx4r5lgiMBfSEdqQigACs71DQG" class=#" cyc_term" >
  MotorScooter</a> . (cf.) .</rdfs:comment>
  <cycAnnot:label xml:lang="en">Motorcycle</cycAnnot:label>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="Mx4rGg3iGoiLEdqAAAACsOuFOQs"/>
  <rdfs:type rdf:resource="Mx4rvQ877JwpEbGdrcN5Y29ycA"/>
  <rdfs:type rdf:resource="Mx4rUX1f1ITNqdeN6IdmOBW9XA"/>
  <rdfs:type rdf:resource="Mx4rpPHhAOB1EdqAAAACs6hR2g"/>
  <rdfs:type rdf:resource="Mx4roQc38F2xEdi4lACs2JMLQ"/>
  <owl:sameAs rdf:resource="cyc:Mx4rvVKEdJwpEbGdrcN5Y29ycA"/>
  <owl:sameAs rdf:resource="http://umbel.org/umbel/sc/Motorcycle"/>
  <owl:sameAs rdf:resource="http://dbpedia.org/resource/Motorcycle"/>
  <Mx4rvQ877JwpEbGdrcN5Y29ycA rdf:resource="Mx4rvVKEdJwpEbGdrcN5Y29ycA"/>
  <Mx4rvjLdVJwpEbGdrcN5Y29ycA rdf:resource="Mx4rv6R4q2wpEbGdrcN5Y29ycA"/>
  <Mx4rvjLdVJwpEbGdrcN5Y29ycA rdf:resource="Mx4rvYos3ypwEbGdrcN5Y29ycA"/>
  <Mx4rvjLdVJwpEbGdrcN5Y29ycA rdf:resource="Mx4rvrbKSypwEbGdrcN5Y29ycA"/>
  <Mx4rZ0AVe1YGEqAAAACs2Dhmw rdf:resource="Mx4rvf-bUJwpEbGdrcN5Y29ycA"/>
  <Mx4rvL5VCwpwEbGdrcN5Y29ycA
  ml:lang="en">motorcycles</Mx4rvL5VCwpwEbGdrcN5Y29ycA>
  <Mx4rvL5VCwpwEbGdrcN5Y29ycA xml:lang="en">bikes</Mx4rvL5VCwpwEbGdrcN5Y29ycA>
  <Mx4rvL5VCwpwEbGdrcN5Y29ycA xml:lang="en">bike</Mx4rvL5VCwpwEbGdrcN5Y29ycA>
  <Mx4rTv-jk9SPTXa991kk5mAvHg>Motorcycle</Mx4rTv-jk9SPTXa991kk5mAvHg>
  <Mx4rNv0nhm4TTj0p7yhmnz0ygg>http://en.wikipedia.org
  wiki/Motorcycle</Mx4rNv0nhm4TTj0p7yhmnz0ygg>
  <Mx4r1WVFR6HJSpaEaHcWS3MSA>http://www.w3.org/2006/03/wn/wm20/instances/synset-
  motorcycle-1</Mx4r1WVFR6HJSpaEaHcWS3MSA>
  </owl:Class>

```

Declara la clase *motorcycle*, con su etiqueta, comentario, etiqueta equivalente en Cyc y, mediante la propiedad *subClassOf* se la indica como del tipo *two wheeled motorized vehicle*

Clases de las cuales es instancia *motorcycle*

Misma entidad en Cyc, UMBEL y DBpedia

Alias del concepto: *bike, bikes, motorcycles*

Referencia al artículo en Wikipedia

```

  <Mx4rvL5VCwpwEbGdrcN5Y29ycA
  ml:lang="en">motorcycles</Mx4rvL5VCwpwEbGdrcN5Y29ycA>
  <Mx4rvL5VCwpwEbGdrcN5Y29ycA xml:lang="en">bikes</Mx4rvL5VCwpwEbGdrcN5Y29ycA>
  <Mx4rvL5VCwpwEbGdrcN5Y29ycA xml:lang="en">bike</Mx4rvL5VCwpwEbGdrcN5Y29ycA>
  <Mx4rTv-jk9SPTXa991kk5mAvHg>Motorcycle</Mx4rTv-jk9SPTXa991kk5mAvHg>
  <Mx4rNv0nhm4TTj0p7yhmnz0ygg>http://en.wikipedia.org
  wiki/Motorcycle</Mx4rNv0nhm4TTj0p7yhmnz0ygg>
  <Mx4r1WVFR6HJSpaEaHcWS3MSA>http://www.w3.org/2006/03/wn/wm20/instances/synset-
  motorcycle-1</Mx4r1WVFR6HJSpaEaHcWS3MSA>
  </owl:Class>

```

```

<owl:Class rdf:about="Mx4rvHiE9JwpEbGdrcN5Y29ycA">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="Mx4rvVKEdJwpEbGdrcN5Y29ycA"/>
  <rdfs:label xml:lang="en">BMW motorcycle</rdfs:label>
  <cycAnnot:label xml:lang="en">BMWMotorcycle</cycAnnot:label>
  </owl:Class>

```

Subclase *BMW motorcycle* perteneciente a la clase *motorcycle*

```

<owl:Class rdf:about="Mx4rvQCaIpwpEbGdrcN5Y29ycA">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="Mx4rvVKEdJwpEbGdrcN5Y29ycA"/>
  <rdfs:comment xml:lang="en">The collection of all dirt bikes. A type of
  <!--a href=#"http://sw.opencyc.org/concept/Mx4rvVKEdJwpEbGdrcN5Y29ycA"
  class=#" cyc_terms" >Motorcycle</a> . The collection <!--a href=#
  http://sw.opencyc.org/concept/Mx4rvQCaIpwpEbGdrcN5Y29ycA"
  class=#" cyc_terms" >DirtBike</a> is a <!--a href=#
  http://sw.opencyc.org/concept/Mx4rUX1f1ITNqdeN6IdmOBW9XA"
  class=#" cyc_terms" >VehicleTypeByIntendedUse</a> and a <!--a href=#
  http://sw.opencyc.org/concept/Mx4rpPHhAOB1EdqAAAACs6hR2g"
  class=#" cyc_terms" >SpatiallyDisjointObjectType</a> .</rdfs:comment>
  <cycAnnot:label xml:lang="en">DirtBike</cycAnnot:label>
  <rdfs:label xml:lang="en">dirt bike</rdfs:label>
  </owl:Class>

```

Subclase *dirt bike* perteneciente a la clase *motorcycle*

```

<Mx4rvVKEdJwpEbGdrcN5Y29ycA rdf:about="Mx4rArA3hEuQdeNsaJc61Z9AA">
  <cycAnnot:label xml:lang="en">Jon'sMotorcycle</cycAnnot:label>
  <rdfs:label xml:lang="en">Jon's Motorcyle</rdfs:label>
  </Mx4rvVKEdJwpEbGdrcN5Y29ycA>

```

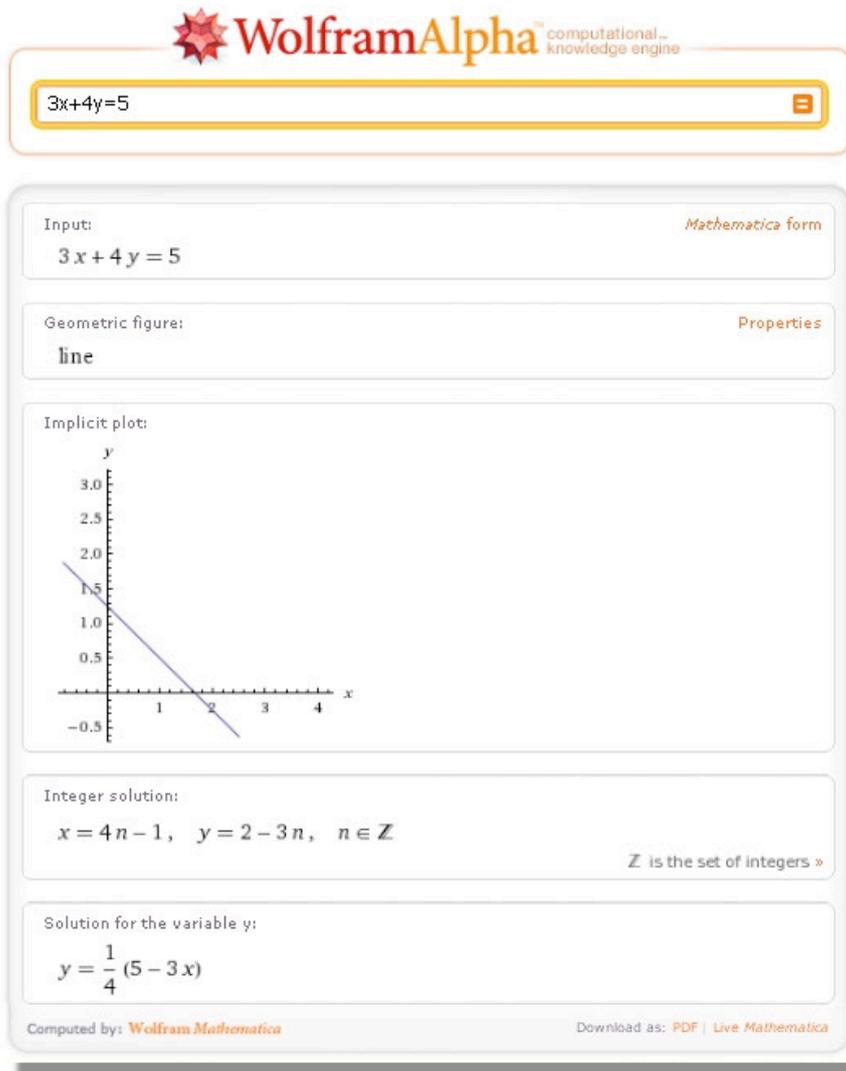
Instancia *Jon's motorcycle* de la clase *motorcycle*

ANEXO II. EJEMPLO DE RESPUESTAS DE WOLFRAM ALPHA

En el presente anexo se muestran 3 ejemplos de consultas y respuestas realizadas al motor de conocimiento Wolfram Alpha.

Ejemplo 1

Ingresando una ecuación, el motor devuelve una solución completa y su gráfica correspondiente.



The image shows a screenshot of the Wolfram Alpha interface. At the top, the Wolfram Alpha logo is displayed with the tagline "computational... knowledge engine". Below the logo is a search bar containing the equation $3x+4y=5$. To the right of the search bar is a button with a search icon. A bracket on the right side of the search bar is labeled "Entrada".

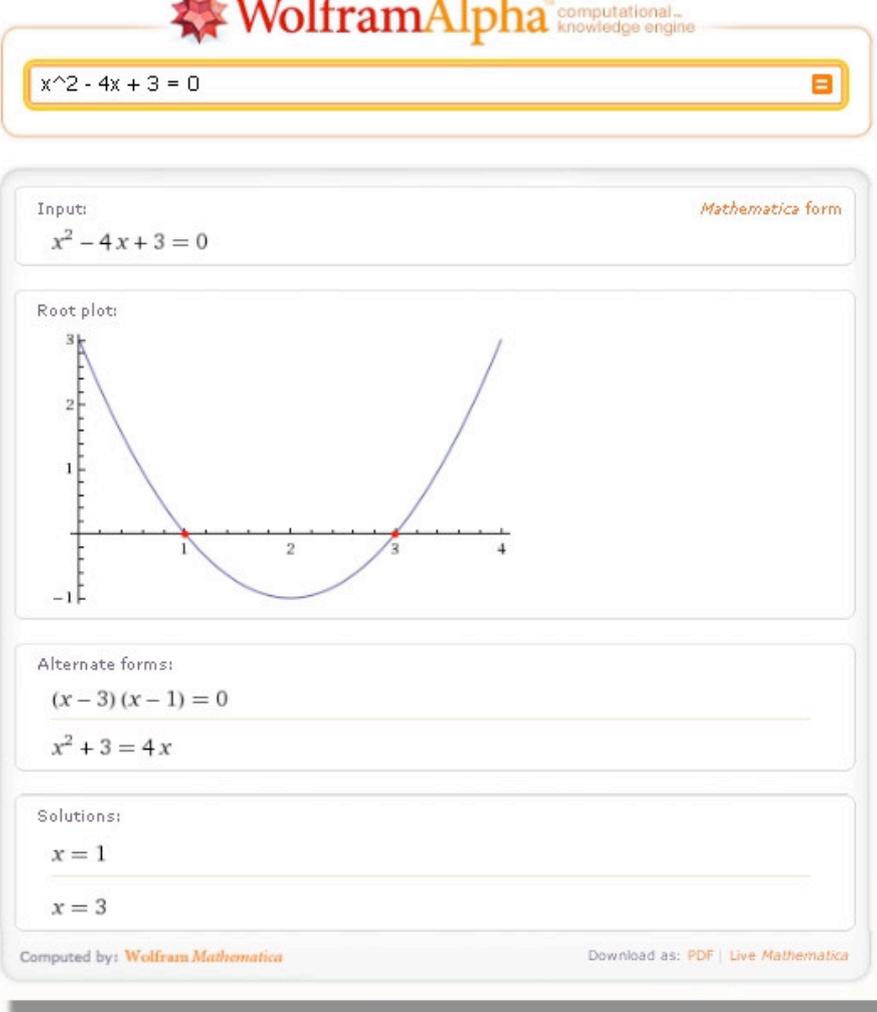
Below the search bar, the results are displayed in several sections:

- Input:** $3x + 4y = 5$ (Mathematica form)
- Geometric figure:** line (Properties)
- Implicit plot:** A graph showing a straight line on a Cartesian coordinate system. The x-axis ranges from 0 to 4, and the y-axis ranges from -0.5 to 3.0. The line passes through the points (0, 1.25) and (1.67, 0).
- Integer solution:** $x = 4n - 1, y = 2 - 3n, n \in \mathbb{Z}$ (Z is the set of integers »)
- Solution for the variable y:** $y = \frac{1}{4}(5 - 3x)$

At the bottom of the interface, it says "Computed by: Wolfram Mathematica" and "Download as: PDF | Live Mathematica". A bracket on the right side of the results area is labeled "Salida".

Ejemplo 2

De manera similar al ejemplo anterior, ingresando una ecuación de segundo grado, el motor realiza la gráfica de la curva y muestra las soluciones correspondientes.



The image shows the WolframAlpha interface for solving the quadratic equation $x^2 - 4x + 3 = 0$. The input field contains the equation. The output includes a root plot showing a parabola opening upwards with roots at $x=1$ and $x=3$. The alternate forms are $(x-3)(x-1) = 0$ and $x^2 + 3 = 4x$. The solutions are $x=1$ and $x=3$.

Entrada

Salida

Ejemplo 3

Ingresando una sentencia a manera de consulta, como puede ser “*1 apple + 2 oranges*”, el motor busca dichos conceptos y realiza una interpretación de lo ingresado. Para el ejemplo, genera una salida completa de las propiedades alimenticias de la combinación de ambas frutas.

1 apple + 2 oranges

Assuming apple | Use [dried apple](#) or [prepared apples](#) instead
 Assuming any type of apple | Use [apple, with skin](#) or [apple, without skin](#) instead
 Assuming any type of orange | Use [orange, plain](#) or [more](#) instead

Input interpretation:

apple amount 1 apple +
 orange amount 2 oranges

Total nutrition facts:

serving sizes (total: 463 g)	
apple:	1 apple (182 g)
orange:	2 oranges (281 g)
total calories	234 fat calories 7
	% daily value*
total fat	880 mg 1%
saturated fat	116 mg 1%
trans fat	
cholesterol	0 g 0%
sodium	2.9 mg 0%
total carbohydrates	60 g 20%
dietary fiber	11 g 44%
sugar	44 g
protein	3.5 g 7%
vitamin A	15%
vitamin C	273%
calcium	14%
iron	5%
vitamin E	3%
thiamin	19%
riboflavin	10%
niacin	6%
vitamin B6	13%
folate	22%
phosphorus	7%
magnesium	10%
zinc	2%

*percent daily values are based on a 2000 calorie diet

Individual nutrition facts

Calories:		mean value	% daily value	range
total calories	apple	91 Cal	5%	(87 to 95) Cal
	orange	143 Cal	7%	(129 to 177) Cal
	total	234 Cal	12%	
fat calories	apple	2.3 Cal		(2 to 2.6) Cal
	orange	5.1 Cal		(2.8 to 7.1) Cal
	total	7.4 Cal		

Carbohydrates:		mean value	% daily value	range
total carbohydrates	apple	24 g	8%	(23 to 25) g
	orange	36 g	12%	(32 to 44) g
	total	60 g	20%	
dietary fiber	apple	3.4 g	13%	(2.4 to 4.4) g
	orange	7.9 g	31%	(6.2 to 13) g
	total	11 g	44%	
sugar	apple	19 g		(18 to 19) g
	orange	25 g		(24 to 26) g
	total	44 g		

Sterols:		mean value	% daily value	range
cholesterol	apple	0 g	0%	
	orange	0 g	0%	
	total	0 g	0%	

Fats and fatty acids:		mean value	% daily value	range
total fat	apple	273 mg	0%	(237 to 309) mg
	orange	607 mg	1%	(337 to 843) mg
	total	880 mg	1%	
saturated fat	apple	45 mg	0%	(38 to 51) mg
	orange	71 mg	0%	(42 to 98) mg
	total	116 mg	0%	

Physical properties:

mass	apple	182 grams
	orange	281 grams
	total	463 grams
serving volume	apple	233 mL (milliliters)
	orange	369 mL (milliliters)
	total	602 mL (milliliters)
serving density	apple	0.78 g/cm ³ (grams per cubic centimeter)
	orange	0.76 g/cm ³ (grams per cubic centimeter)

