

Novática, revista fundada en 1975 y decana de la prensa informática española, es el órgano oficial de expresión y formación continua de **ATI** (Asociación de Técnicos de Informática). **Novática** edita también **UPGRADE**, revista digital de **CEPIS** (Council of European Professional Informatics Societies), en lengua inglesa, y es miembro fundador de **UPENET** (UPGRADE European Network)

<<http://www.ati.es/novatica/>>
<<http://www.upgrade-cepis.org/>>

ATI es miembro fundador de **CEPIS** (Council of European Professional Informatics Societies) y es representante de España en **IFIP** (International Federation for Information Processing); tiene un acuerdo de colaboración con **ACM** (Association for Computing Machinery), así como acuerdos de vinculación o colaboración con **AdaSpain**, **AI2** y **ASTIC**.

Consejo Editorial

Antoni Carbonell Noguera, Juan Manuel Cueva Lovelle, Juan Antonio Esteban Iriarte, Francisco López Crespo, Celestino Martín Alonso, Josep Molas i Bertrán, Olga Pallás Codina, Fernando Piña Gómez (Presidente del Consejo), Ramon Puigjaner Trepal, Miquel Sàrries Grifó, Asunción Yturbe Herranz

Coordinación Editorial

Rafael Fernández Calvo <rfcalvo@ati.es>

Composición y autoedición

Jorge Lázaro Gil de Raimales

Traducciones

Grupo de Lengua e Informática de ATI <<http://www.ati.es/gt/lengua-informatica/>>

Administración

Tomás Brunete, María José Fernández, Enric Camarero, Felicidad López

Secciones Técnicas: Coordinadores

Administración Pública electrónica

Gumersindo García Arribas, Francisco López Crespo (MAP)

<gumersindo.garcia@map.es>, <flc@ati.es>

Arquitecturas

Enrique F. Torres Moreno (Universidad de Zaragoza) <enrique.torres@unizar.es>

Jordi Tubella Morgadas (DAC-UPC) <jordi@ac.upc.es>

Auditoría SITIC

Marina Tourinho Troitín, Manuel Palao García-Suelto (ASIA)

<marinatourinho@marinatourinho.com>, <manuel@palao.com>

Bases de datos

Coral Calero Muñoz, Mario G. Piattini Velthuis

(Escuela Superior de Informática, UCLM)

<Coral.Calero@uclm.es>, <mpiattini@inf-ur.uclm.es>

Derecho y tecnologías

Isabel Hernando Collazos (Fac. Derecho de Donostia, UPV) <ihernando@legalnet.net>

Elena Davara Fernández de Maroñas (Doyata & Davara) <sdavara@davara.com>

Esencia Universitaria de la Informática

Joaquín Ezpeleta Mateo (CPS-UZAR) <ezpeleta@posta.unizar.es>

Orsualda Pareja Flores (DSIP-UCM) <opareja@sip.ucm.es>

Gestión del Conocimiento

Juan Baiget Solé (Cap Gemini Ernst & Young) <juan.baiget@ati.es>

Informática y Filosofía

José Corco Juvinyà (UC) <jcorco@unica.edu>

Esperanza Marcos Martínez (ESCET-URJC) <cuca@escet.urjc.es>

Informática Gráfica

Miguel Chover Sells (Universitat Jaume I de Castellón) <mchover@lsi.uji.es>

Roberto Vivó Hernández (Eurographics, sección española) <rvivo@dsic.upv.es>

Legislación de la Informática

Javier Dolado Cosin (DLSI-UPV) <dolado@lsi.uji.es>

Luis Fernández Sainz (PRIS-EI-UEM) <luisfern@pris.esi.uem.es>

Inteligencia Artificial

Federico Barber Sanchis, Vicente Boti Navarro (DSIC-UPV)

<fvotti_barber@dsic.upv.es>

Interacción Persona-Computador

Julio Abascal González (PI-UPV) <julio@si.edu.es>

Jesús Lorés Vidal (Univ. de Lleida) <jesus@eup.udl.es>

Internet

Alonso Álvarez García (TID) <alonso@ati.es>

Llorenç Pagés Casas (Andra) <pages@ati.es>

Lengua e Informática

M. del Carmen Ugarte García (IBM) <cugarte@ati.es>

Lenguajes Informáticos

Andrés Marín López (Univ. Carlos III) <amarin@i.uc3m.es>

J. Angel Velázquez Iribide (ESCET-URJC) <a.velazquez@escet.urjc.es>

Librerías e Informática

Alfonso Escolano (EIR-Univ. de La Laguna) <aescolano@ull.es>

Lingüística computacional

Xavier Gómez Guinovart (Univ. de Vigo) <xgg@wigo.es>

Manuel Palmari (Univ. de Alicante) <mpalmari@disi.ua.es>

Mundo estudiantil

Adolfo Vázquez Rodríguez (Rama de Estudiantes del IEEE-UCM)

Profesión Informática

Rafael Fernández Calvo (ATI) <rfcalvo@ati.es>

Miquel Sàrries Grifó (Ayto. de Barcelona) <msarries@ati.es>

Redes y servicios telemáticos

José Luis Marzo Lázaro (Univ. de Girona) <joseluis.marzo@udg.es>

Josep Solé Pareta (DAC-UPC) <pareta@ac.upc.es>

Seguridad

Javier Arellano Bertollín (Univ. de Deusto) <jarellano@eside.deusto.es>

Javier López Muñoz (ETSI Informática-UM) <jlm@icc.uma.es>

Sistemas de Tiempo Real

Alejandro Alonso Muñoz, Juan Antonio de la Puente Alfaro (DIT-UPM)

<aalonso_inventer@dit.upm.es>

Software Libre

Jesús M. González Barahona, Pedro de las Heras Quirós

(GSYC-URJC) <jm.gheras@gsyc.escet.urjc.es>

Tecnología de Weblogs

Jesús García Molina (DIS-UM) <jmolina@correo.um.es>

Gustavo Rossi (LIFIA-UNLP, Argentina) <gustavo@sol.info.unlp.edu.ar>

Tecnologías para la Educación

Juan Manuel Dodero Beardo (UOCM) <dodero@inf.uc3m.es>

Julia Minguitón i Alfonso (UOC) <jminguiton@uoc.edu>

Tecnologías y Empresa

Pablo Hernández Medrano (Bluemat) <pablohm@bluemat.biz>

<bluemat@bluemat.biz>

TIC para la Sanidad

Valentín Masero Vargas (DI-UNEX) <vmasero@unex.es>

TIC y Turismo

Andrés Aguayo Maldonado, Antonio Guevara Plaza (Univ. de Málaga)

<aguayo_guevara@icc.uma.es>

Las opiniones expresadas por los autores son responsabilidad exclusiva de los mismos. **Novática** permite la reproducción de todos los artículos, a menos que lo impida la modalidad de © o copyright elegida por el autor, debiéndose en todo caso citar su procedencia y enviar a **Novática** un ejemplar de la publicación.

Coordinación Editorial, Redacción Central y Redacción ATI Madrid

Padilla 66, 3º, dcha., 28006 Madrid

Tfn. 91 4029391 - fax. 91 3093685 <novatica@ati.es>

Composición, Edición y Redacción ATI Valencia

Av. del Reino de Valencia 23, 46005 Valencia

Tfn./fax. 96330397 <secreta@ati.es>

Administración y Redacción ATI Cataluña

Ciudad de Granada 131, 08018 Barcelona

Tfn. 934125235 - fax. 934127713 <secretgen@ati.es>

Redacción ATI Andalucía

Isaac Newton, s/n, Ed. Sadiel,

Isla Cartuja 41092 Sevilla, Tfn./fax. 954460779 <secretand@ati.es>

Redacción ATI Aragón

Lepoisa 3, s/n, 50100 Zaragoza

Tfn./fax. 976235181 <secretara@ati.es>

Redacción ATI Asturias-Cantabria

<gg_astucant@ati.es>

Redacción ATI Castilla-La Mancha

<gp-clmancha@ati.es>

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Redacción ATI Castilla-La Mancha

Luis Sánchez Fernández,
Norberto Fernández García
Universidad de Carlos III de Madrid

<{luiss, berto}@it.uc3m.es>

La Web Semántica: fundamentos y breve "estado del arte"

1. Introducción

La Web fue creada solamente hace cerca de 15 años y sin embargo es asombrosa la revolución que ha producido. Ha permitido el intercambio de información a escala mundial entre personas en un nivel que nunca había sido visto anteriormente.

A pesar de su gran éxito, la Web actualmente existente presenta algunas limitaciones que nos gustaría superar y que permitirían un mayor grado de automatización en el uso de la misma. Un ejemplo típico es el de los buscadores o motores de búsqueda. Sin duda, la manera más usada de encontrar la información en la Web actualmente es el uso de los motores de búsqueda como Google.

Un buscador nos permite introducir algunas palabras en un cuadro y nos proporciona como resultado un conjunto de páginas web. Aunque los buscadores ofrecen resultados generalmente buenos, los usuarios habituales de buscadores sabemos que las siguientes cosas pueden suceder:

- Encontramos páginas web que no están relacionadas con el objeto de la búsqueda. Por ejemplo, deseamos encontrar en la Web información sobre la "Internacional Semantic Web Conference" que iba a tener lugar en Galway (Irlanda) en noviembre de 2005 y realizamos en Google la consulta "ISWC" (la consulta fue hecha el 27-10-2005). El primer resultado obtenido trataba de la edición 2004 del "Internacional Semantic Web Conference" que no era lo que buscábamos. El segundo resultado era la página web de la edición 2005 del "Internacional Symposium on Wearable Computers". La primera página web relevante relacionada con lo que realmente buscábamos (de hecho era la página principal del congreso) estaba en el 6º lugar de los resultados mostrados por Google.

- El buscador no encuentra algunas páginas web importantes relacionadas con lo que nos interesa. Por ejemplo, buscamos también en Google (consulta hecha el 2-11-2005) por "Computer Architecture" + "Carlos", buscando información sobre una asignatura impartida en la titulación de Ingeniero de Telecomunicación en la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M). No encontramos las dos páginas principales sobre esta asignatura disponibles en el servidor web de la UC3M entre los 50 primeros resultados mostrados por Google.

Resumen: presentamos en este artículo la visión de la Web Semántica. Se estudia la problemática de la Web actual y se plantea como posible solución una evolución de la Web actual en la que los contenidos disponibles en la Web tuviesen asociadas descripciones formales procesables por aplicaciones software. Se estudian los componentes fundamentales de la Web Semántica y su estado del arte: anotación semántica, ontologías, razonamiento lógico.

Palabras clave: anotación semántica, metadatos, ontología, RDF, RDF Schema, OWL, Web Semántica.

Luis Sánchez Fernández obtuvo el título de Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid en el año 1992 y el título de Doctor Ingeniero de Telecomunicación, también por la Universidad Politécnica de Madrid en el año 1997. En octubre de 1997 se incorporó a la Universidad Carlos III de Madrid, donde en la actualidad es Profesor Titular de Universidad en el Depto. de Ingeniería Telemática, donde ostenta el cargo de Subdirector. Es Director del Laboratorio de Tecnologías Web, <<http://www.it.uc3m.es/infoflex/techweb/es/indice.html>> integrado en el grupo de investigación Grupo de Aplicaciones y Servicios Telemáticos de la Universidad Carlos III de Madrid. Ha participado y/o dirigido varios proyectos de investigación nacionales y uno europeo relacionados con tecnologías Web, incluyendo las tecnologías de Web Semántica, y es autor de más de 50 publicaciones en congresos y revistas nacionales e internacionales así como de varios capítulos en libros científicos. Sus actividades de investigación actuales están centradas en la Web Semántica (anotación semántica, ontologías, servicios web semánticos). También está interesado en otras tecnologías relacionadas con las aplicaciones Web, como XML. Es socio de ATI y frecuente colaborador de su revista *Novática*.

Norberto Fernández-García es titulado en Ingeniería de Telecomunicación por la Universidad de Vigo desde el año 2002. Actualmente trabaja como profesor ayudante en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, donde cursa estudios de doctorado. Su investigación se centra actualmente en temas relacionados con la Web Semántica y más concretamente con la anotación semántica, la gestión de conocimiento en sistemas *peer-to-peer* y la aplicación de las tecnologías de Web Semántica en el dominio del periodismo.

Hay también algunas cosas que simplemente no es posible hacer en la Web existente hoy en día de forma automática. Por ejemplo, sería interesante poder hacer preguntas a un buscador como por ejemplo "dime el nombre del Presidente de Francia". Todo lo que podemos hacer es buscar en Google "presidente de Francia". Obtenemos varias páginas web donde podemos encontrar la respuesta a nuestra pregunta. Es algo molesto tener que seguir este procedimiento en dos pasos. Después de todo, la información estaba allí. ¿Por qué no puede ser extraída directamente por el buscador? Algunas veces, incluso tenemos que hacer varias búsquedas y mirar en varias páginas web para encontrar lo que buscábamos.

2. Sintaxis vs. Semántica

Los motores de búsqueda como Google recuperan documentos que contienen los términos que se han introducido en una consulta (en el caso de Google también utiliza los enlaces que apuntan a una página Web para decidir si recuperar esa página). Por ejemplo, en nuestra consulta "ISWC", encontra-

mos páginas web que contienen el término "ISWC". Esta técnica (junto con muchos detalles técnicos no discutidos aquí) funciona bastante bien para recuperar los documentos que se relacionan con una consulta. Sin embargo, como ya hemos visto, en algunos casos los resultados de la consulta no son correctos (encontramos páginas web no relacionadas con lo que buscábamos o no encontramos una cierta página relevante). Hay al menos tres tipos de situaciones que pueden producir estos errores:

- Polisemia: realizamos una consulta en el buscador introduciendo un término y encontramos páginas web que contienen tal término pero con un significado distinto de aquello que nos interesa.

- Sinonimia: realizamos una consulta en el buscador introduciendo un término y no encontramos páginas web relacionadas con aquello que nos interesa porque tales páginas web contienen un sinónimo del término (pero no el propio término).

- Multilingüismo: realizamos una consulta en el buscador introduciendo términos en inglés y no encontramos páginas Web rela-



A pesar de su gran éxito, la Web actualmente existente presenta algunas limitaciones



cionadas con lo que nos interesa pero escritas en español (o cualquier otra lengua).

En todos estos casos, el problema es que la consulta no identifica de forma precisa aquello en lo que estamos interesados sino que solamente identifica un término que en cierto idioma tiene entre sus significados aquello que estamos buscando. Se denomina "búsqueda sintáctica" a un procedimiento de búsqueda en el que el resultado de la búsqueda es el conjunto de documentos que contienen los términos introducidos en la consulta.

Si las páginas web tuviesen asociadas anotaciones formales que identificasen inequívocamente los conceptos y entidades principales contenidos en las páginas, un buscador (semántico) podría evitar cometer los tres tipos de errores descritos antes y encontrar sólo los documentos relacionados exactamente con aquello en lo que realmente estábamos interesados al realizar una consulta.

La Web Semántica es una visión de una futura Web en la cual la información que en la versión actual de la Web es comprensible solamente por los seres humanos también esté disponible de una manera formal para sistemas inteligentes. Si esta visión se hace realidad en el futuro, nuevas aplicaciones basadas en Web serían concebibles. Esta gama de nuevas aplicaciones iría desde buscadores semánticos a agentes inteligentes, los cuales navegando por la Web podrían reservar una visita al doctor en nuestro nombre [1].

3. Fundamentos de la Web Semántica

Como acabamos de ver, las páginas Web deberán tener asociadas (dentro de las propias páginas o en otra parte) anotaciones que describan formalmente la información (conocimiento) contenida dentro de ellas. Las aplicaciones software desarrolladas sobre la Web Semántica explotarán tal conocimiento para asistir a las personas en la automatización de tareas web que en la actualidad se realizan basadas en la interacción del usuario (seguir enlaces, rellenar formularios, combinar datos obtenidos de varias fuentes, decidir el siguiente paso a seguir, realizar búsquedas, etc.). Los sistemas basados en conocimiento como los que serán desarrollados para la Web Semántica han sido estudiados por los investigadores en

Inteligencia Artificial desde hace bastantes años. Es bien sabido que estos sistemas tienen dos componentes básicos: una base de conocimiento de los hechos conocidos por el sistema inteligente y un motor de inferencia. Como vamos a ver, las aplicaciones basadas en conocimiento para la Web Semántica poseerán estos dos elementos aunque también habrá algunas diferencias con respecto a los sistemas basados en conocimiento clásicos.

La base de conocimiento de una aplicación para la Web Semántica será construida a partir de las anotaciones recogidas por la aplicación mientras navega por páginas web (semánticas). La naturaleza abierta de la arquitectura de la Web ha hecho inadecuado el uso de lenguajes de representación de conocimiento tradicionales, porque presuponen que existe un vocabulario común compartido por todos los usuarios del sistema. En un entorno abierto como la Web no se puede hacer esa suposición porque diferentes grupos de usuarios deben poder utilizar sus propios vocabularios. En la Web Semántica, cualquiera podrá anotar páginas web y estas anotaciones no estarán restringidas a un vocabulario fijo. Este requisito ha causado que el *World Wide Web Consortium* (W3C) [2] haya definido una recomendación estándar para representación del conocimiento en la Web Semántica: el Marco de Descripción de Recursos (RDF, *Resource Description Framework*) [3].

Un modelo de RDF se compone de un conjunto de triplas, donde cada tripla se compone de un sujeto (el recurso que es descrito: una página web, una persona, una localización o cualquier otra cosa de interés), un predicado que identifica la característica que es definida para ese recurso (el autor de la página web, el trabajo de la persona, las coordenadas de la localización, ...) y un objeto que indica el valor del predicado para el sujeto especificado (por ejemplo el nombre del autor de la página web es "Luis Sánchez"). Los recursos en RDF son identificados por *Universal Resource Identifiers*, URIs (las URLs son el tipo más común de URIs). El sujeto y el predicado de una tripla RDF son URIs. Cualquiera puede identificar nuevos recursos a describir y nuevas características de los recursos simplemente asignándoles un URI nueva. Esto encaja muy bien con la arquitectura abierta de la Web. Los objetos pueden ser URIs, pero

también pueden ser constantes (una cadena de caracteres, un número entero, ...).

Disponer de anotaciones semánticas puede no ser suficiente para las aplicaciones que utilicen la Web Semántica. La mayoría de estas aplicaciones necesitarán un modelo del dominio en el que operen que incluya el vocabulario de los conceptos relevantes a ese dominio, y probablemente las propiedades que relacionan los diferentes conceptos así como las reglas que gobiernan ese dominio. Partiendo de ese modelo, el sistema será capaz de obtener conclusiones y/o tomar decisiones procesando las anotaciones extraídas de páginas web. Tales modelos son definidos por medio del segundo ingrediente fundamental para poder hacer de la Web Semántica una realidad: las ontologías.

Aunque hay muchas definiciones acerca de qué es una ontología, traemos aquí una definición hecha por Studer y otros [4] basada en las definiciones anteriores de Gruber [5] y Borst [6]: "*Una ontología es una especificación formal y explícita de una conceptualización compartida*".

Los elementos de esta definición son también explicados en [4] como sigue:

- **Conceptualización** se refiere a un modelo abstracto de un cierto fenómeno en el mundo, identificando conceptos relevantes de ese fenómeno.
- **Explícita** quiere decir que los conceptos y las propiedades usadas, y las leyes que gobiernan el modelo, se definen explícitamente.
- **Formal** se refiere al hecho que la ontología debe ser procesable por un ordenador.
- **Compartida** refleja la noción de que la ontología captura conocimiento consensuado, es decir, no es la visión de un individuo sino algo aceptado por un grupo.

Puede ser un poco confuso que ahora estemos hablando de aplicaciones de Web Semántica que almacenan en sus bases de conocimiento vocabularios de conceptos y propiedades mientras que hemos dicho antes que cualquiera puede crear los nuevos términos (URIs) para identificar recursos (donde esos recursos pueden ser sujeto, objeto o predicado de una tripla de RDF). ¿Cómo puede una aplicación de Web Semántica 'entender' el significado de una anotación si ésta no utiliza el vocabulario conocido por la aplicación? La respuesta es que

simplemente la aplicación probablemente no podrá procesar esa anotación. Aquí es de donde la idea de "conceptualización compartida" de las ontologías desempeña un papel importante. Una ontología útil será compartida por un grupo de personas (o un grupo de organizaciones) y será usada para anotar sus páginas web. La aplicación de Web Semántica que almacena esa ontología en su base de conocimiento podrá entender las anotaciones de tales páginas web. Esto no es tan diferente del estado de la Web hoy. Una persona española tendrá dificultades para entender páginas web escritas en alemán (salvo que esa persona conozca el idioma alemán) y un doctor puede entender fácilmente páginas web relacionadas con medicina pero puede tener problemas para entender páginas web relacionadas con tecnologías electrónicas complejas.

En relación con esto, una de las líneas de investigación relacionadas con la Web Semántica más activas en la actualidad es lo que se conoce como *ontology mapping* (correspondencia entre ontologías). El *ontology mapping* trata de resolver el problema de detectar qué dos conceptos definidos en dos ontologías se relacionan entre sí de alguna forma o incluso que son el mismo concepto. Existen varias técnicas que se pueden utilizar para realizar esta tarea: analizar la estructura de las ontologías, técnicas de procesamiento de lenguaje natural si los conceptos poseen etiquetas asociadas, etc. Gracias al *ontology mapping* podríamos descubrir relaciones entre el vocabulario (la ontología) utilizado por nuestro sistema basado en conocimien-

to y otros vocabularios, pudiendo así ampliar el abanico de páginas web que nuestro sistema sería capaz de procesar. En general, el problema del *ontology mapping* está lejos de ser resuelto (al menos automáticamente).

Como en el caso de RDF, el W3C ha desarrollado dos recomendaciones estándar para el desarrollo de ontologías para la Web Semántica: RDF Schema [7] y OWL (*Web Ontology Language*) [8].

El tercer elemento fundamental de la Web Semántica es el desarrollo de motores de inferencia que implementen la semántica de los lenguajes de ontologías y anotaciones utilizados. Estos motores de inferencia requerirán para ser útiles combinar potentes capacidades de razonamiento con funcionamiento escalable.

El W3C ha propuesto una arquitectura (figura 1) para la Web Semántica que se basa en los tres elementos fundamentales que acabamos de presentar: anotaciones, ontologías y motores de inferencia.

Los niveles más bajos de la arquitectura de la Web Semántica reflejan que los modelos de RDF se pueden codificar como documentos XML (*eXtensible Markup Language*) y que los lenguajes de ontologías RDF Schema y OWL son modelos RDF. Es interesante notar que las tecnologías de firma digital aparecen también en la figura. Debido a la naturaleza abierta de la Web, las anotaciones seguirán el principio: "cualquiera puede decir cualquier cosa sobre cualquier cosa". Un

aplicación de Web Semántica necesitará saber cuán confiables son las anotaciones que obtiene. Nuevos modelos para la seguridad y la confianza en la Web Semántica deben ser desarrollados.

Las tres secciones siguientes contienen el llamado "estado del arte" en las actividades de investigación relacionadas con la anotación, ontologías y razonamiento para la Web Semántica. La diversidad de actividades realizadas en la actualidad, la intensidad con la que la comunidad investigadora está abordando el reto de la Web Semántica y, finalmente, la limitación de espacio que lógicamente ha de tener un artículo de estas características, hacen que la visión que intentaremos proporcionar sea necesariamente incompleta. En cada tema se intentará mencionar algunos trabajos relevantes, pero es inevitable que otros se queden en el tintero. Acabaremos este artículo con algunas conclusiones y nuestra opinión sobre el desarrollo del futuro cercano de la Web Semántica.

4. Introducción a la anotación semántica

Según lo introducido en las secciones anteriores, la Web Semántica [1] puede ser vista como una extensión de la Web actual, en la cual la información contenida en las páginas web (además de en lenguaje natural) debe estar representada formalmente para permitir que los ordenadores *entiendan* tal información y puedan procesarla inteligentemente.

Para dar al contenido disponible en la Web

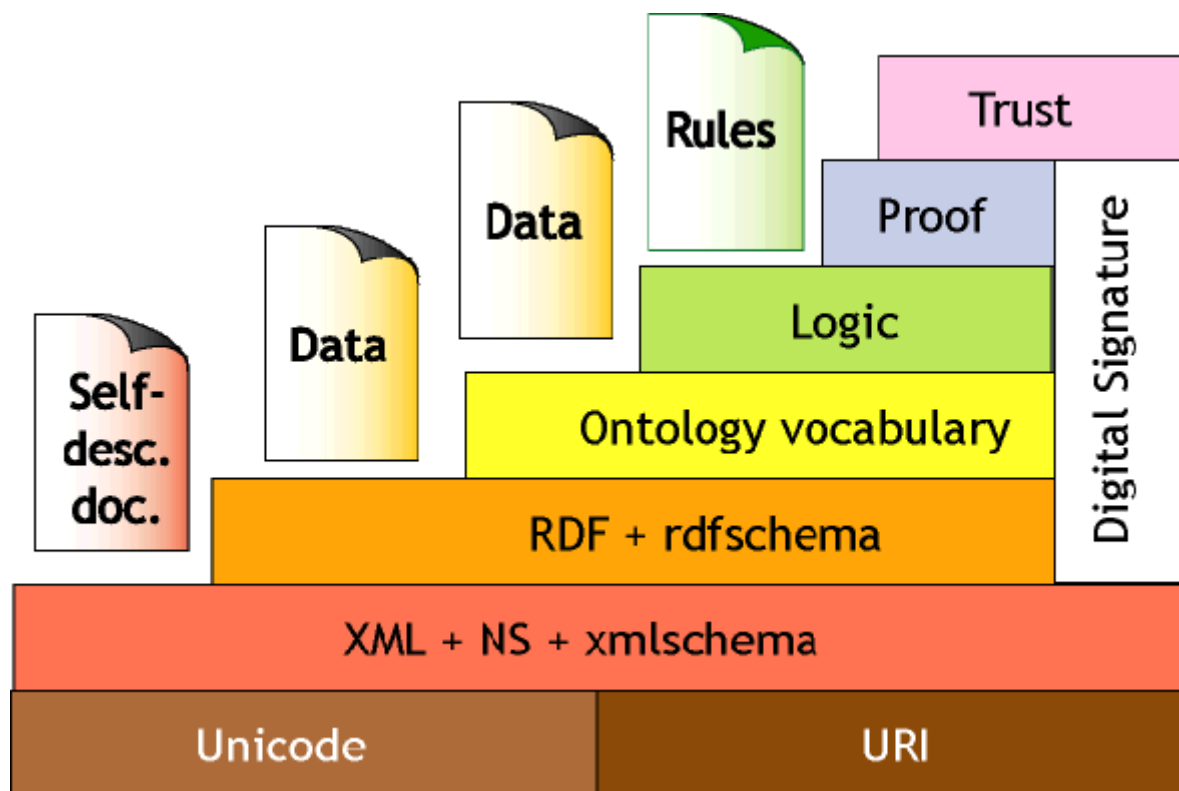


Figura 1. Arquitectura de la Web Semántica.



La anotación semántica tiene una importancia crítica para conseguir que la Web Semántica llegue a ser una realidad



una descripción formal, procesable por ordenador y hacer posible la visión de la Web Semántica, necesitamos agregar *metadatos semánticos*¹ a tales recursos web. El proceso de la adición de metadatos semánticos a los recursos web se refiere comúnmente en el estado de el arte como *anotación semántica*²

En general la anotación semántica de un recurso web (una página web, una imagen, un correo electrónico, ...) requiere relacionar su contenido entero o una parte de él (por ejemplo, una palabra concreta) con cierto identificador. Tal identificador (generalmente una URI) determina inequívocamente un concepto que se menciona en el contenido del recurso. Los identificadores de los conceptos que se utilizarán en el proceso de la anotación son obtenidos de conceptualizaciones de ciertos dominios del conocimiento, que toman típicamente la forma de ontologías.

Debido a que las anotaciones son la base del procesamiento automático de las páginas web, la anotación semántica tiene una importancia crítica para conseguir que la Web Semántica llegue a ser una realidad. En consecuencia, este tema ha sido, y continúa siendo, un campo importante de investigación en el área de la Web Semántica. En el estado del arte en anotación semántica podemos encontrar decenas de enfoques, que se pueden clasificar atendiendo a diversos criterios, como por ejemplo el grado de automatización de las tareas de anotación o la clase de recursos web que pueden ser anotados. Atendiendo al grado de automatización, podríamos clasificar las herramientas y los sistemas como:

Sistemas de Anotación Manuales: es el caso de sistemas como, por ejemplo, Annotea [9], SHOE Knowledge Annotator [10], SMORE (*Semantic Markup, Ontology and RDF Editor*) [11] o CREAM (*Creating RElational, Annotation-based Metadata*) [12]. Estos sistemas proporcionan típicamente un interfaz de usuario que permite a los anotadores humanos ver y navegar simultáneamente las ontologías y los recursos web, usando el conocimiento modelado en las ontologías para agregar anotaciones a recursos Web. También merece la pena mencionar como enfoque de anotación manual aquellas propuestas que consisten en ampliar las capacidades de las herramientas de autor para permitirles incluir anotaciones semánticas en los documentos que están

siendo creados. Como ejemplo podemos mencionar Semantic Word [13].

Sistemas de Anotación (semi)Automáticos: es el caso de sistemas como, por ejemplo, AeroDAML [14], SemTag [15], S-CREAM [16], PANKOW [17], C-PANKOW [18], KIM [19] o MnM [20]. Básicamente estos sistemas explotan técnicas de PLN (procesamiento de lenguaje natural) para extraer las referencias en el texto a ciertos conceptos descritos en ontologías. Estos sistemas requieren generalmente como entrada patrones o corpus de documentos utilizados para entrenar el sistema.

En relación con la clase de recursos que pueden ser anotados, la mayoría de los enfoques existentes en el estado del arte están dedicados a la anotación de recursos con contenido textual. Éste es el caso de la mayoría de los sistemas referidos previamente, especialmente de aquéllos que usan técnicas PLN. Sin embargo, últimamente está habiendo un interés creciente en la anotación de recursos cuyo contenido no es textual. Teniendo esto en cuenta, no es sorprendente encontrar en el estado del arte en anotación semántica enfoques para la anotación de imágenes [21], audio [22] y multimedia [23]. Podemos también encontrar enfoques donde la información a ser anotada no es el contenido de un recurso web, sino un servicio [24]. En ese sentido, podemos decir que la anotación semántica está siguiendo las tendencias en investigación en Web Semántica, cubriendo no sólo aspectos de la Web clásica sino también otros más innovadores como los Servicios Web o los Servicios GRID (*Global Resource Information Database*).

5. Introducción a las Ontologías para la Web Semántica

Una ontología consta de las siguientes partes:

■ Clases e instancias. cualquier modelo que se construya contiene un conjunto de clases que representan conceptos relevantes al modelo. Por ejemplo, en una ontología que representase la estructura política de España, "partido político" y "Comunidad Autónoma" podrían ser clases de la ontología. Las instancias son entidades que pertenecen a una determinada clase. Por ejemplo, "Andalucía" es una instancia de la clase "Comunidad Autónoma" y "PSOE" es una instancia de la clase "partido político". Las clases se suelen organizar en una jerarquía, donde las instancias de una subclase pertenecen a la

clase. Por ejemplo, podríamos tener en nuestra ontología la clase "localización" de la que sería subclase "Comunidad Autónoma".

■ Propiedades: establecen relaciones entre conceptos de la ontología. Por ejemplo, la propiedad "esMiembroPartido" relaciona una persona con el partido al que pertenece.

■ Reglas: modelan sentencias lógicas que se verifican siempre. Se utilizan habitualmente para modelar conocimiento que no puede ser representado utilizando los otros 3 componentes. Se pueden utilizar reglas para 3 tipos de propósitos:

- Creación de conocimiento: sirven para obtener nuevas sentencias lógicas a partir de la información almacenada en la base de conocimiento.
- Restricciones: nos indican propiedades que el modelo debe cumplir. Sirven para detectar inconsistencias.
- Reglas reactivas: determinan acciones a tomar por un sistema basado en conocimiento como consecuencia de que se cumplan ciertas condiciones.

A las ontologías que no tienen reglas se les llama ontologías ligeras. Al tipo más sencillo de ontologías ligeras se les llama taxonomías y están formadas por una jerarquía de clases que representan los conceptos relevantes en el dominio, de forma que los conceptos más generales se encuentren en los niveles superiores de la jerarquía y los más particulares en los inferiores.

La decisión de utilizar o no reglas debe tomarse cuidadosamente, ya que las reglas nos proporcionan una gran capacidad expresiva pero también una mayor complejidad al razonar con la ontología, lo que puede ocasionar problemas de escalabilidad.

El desarrollo y mantenimiento de ontologías complejas plantea una problemática que hace necesario el desarrollo de técnicas y herramientas para darle soporte. Este es el objetivo de la llamada "Ingeniería Ontológica". Dentro de lo que se considera como "Ingeniería Ontológica" existen varias actividades de investigación. Entre otras, podríamos citar las siguientes:

■ Metodologías para el desarrollo de ontologías. Existen varias propuestas de definir métodos y metodologías que sea adecuadas para el desarrollo de ontologías. Algunas de las más importantes son METHONTOLOGY [25], y On-To-Knowledge [26].

■ Herramientas de ayuda al desarrollo de ontologías. La mayoría de estas herramientas incorporan un editor de ontologías que ofrece un interfaz gráfico amigable que permite visualizar la jerarquía de clases de la ontología e insertar/modificar/eliminar clases, propiedades, instancias y/o axiomas. Algunas de ellas proporcionan además soporte a otras fases del ciclo de vida de las ontologías, como evolución, documentación, evaluación, etc. Algunos de los editores de ontologías más conocidos que soportan RDF, RDF Schema y/o OWL son Protegé [27], InferEd [28], WebODE [29] y OilEd [38].

■ Evaluación y medidas de calidad de ontologías. Como en otros aspectos de la Ingeniería, es necesario evaluar las ontologías que se van a utilizar. Esta evaluación incluye diversos aspectos, como por ejemplo comprobar que la ontología es consistente (no se pueden obtener conclusiones contradictorias), que refleja correctamente el dominio que se quiere modelar, que no contiene redundancias, que es fácil de mantener, etc. Algunos trabajos relacionados con evaluación de ontologías son [30] y [31].

■ Soporte al mantenimiento y evolución de las ontologías. Como en cualquier otro sistema software, las aplicaciones basadas en Web Semántica evolucionarán a lo largo del tiempo, y con ellas las ontologías que utilicen.

También merece la pena mencionar actividades relacionadas con el aprendizaje de ontologías, es decir por medio de diferentes técnicas (por ejemplo, PLN) construir una ontología automáticamente. En general, los resultados obtenidos por estos sistemas deben ser posteriormente depurados para poder ser utilizados.

6. Herramientas de razonamiento lógico y lenguajes de reglas para la Web Semántica

Una de las actividades que se están realizando en el campo de la Web Semántica es el desarrollo de motores de inferencia que soporten los lenguajes que se están definiendo para la Web Semántica. Podemos citar por ejemplo a Jena [32], un entorno para el desarrollo de aplicaciones para Web Semántica que incluye razonadores para RDF Schema y OWL Lite (un subconjunto de OWL). Otro entorno de desarrollo para RDF que incluye un motor de inferencia es SESAME [39].

Un subconjunto muy importante de OWL es OWL-DL, donde DL significa *Description Logics*, un tipo de lógica de potencia expresiva menor que la lógica de predicados de primer orden, pero sobre la que es posible realizar razonamientos más eficientemente que con esta última. Un ejemplo de razonador para OWL-DL es Pellet [33]

Los lenguajes de ontologías RDF Schema y OWL ofrecen unas capacidades limitadas

para razonamiento lógico. Por este motivo, se han desarrollado varios trabajos en los que se proponen lenguajes de reglas (es decir, permiten definir axiomas como parte de una base de conocimiento) para la Web Semántica. Uno de los primeros trabajos fue TRIPLE [34]. TRIPLE es un lenguaje de reglas basado en cláusulas de Horn que se define sobre RDF junto con un motor de inferencia capaz de razonar sobre modelos definidos en TRIPLE.

Otra iniciativa muy importante es RuleML [35]. RuleML es un lenguaje XML para la definición de reglas y orientado a su aplicación en la Web Semántica. RuleML contiene aspectos de programación lógica, programación funcional (a lo que se dedica un artículo de esta monografía) y orientación a objetos. Los impulsores de RuleML han enviado una propuesta de lenguaje llamado SWRL (*Semantic Web Rule Language*) [36] para su consideración como estándar del W3C. SWRL es una combinación de OWL-DL (subconjunto de OWL) y un subconjunto de RuleML.

Con independencia de los lenguajes y herramientas que están siendo desarrollados, una cuestión importante a la hora de diseñar un sistema basado en tecnologías de Web Semántica es como se van a utilizar las capacidades de razonamiento lógico. Es bien conocido que la mayoría de los lenguajes de razonamiento lógico con una potencia expresiva significativa poseen complejidad exponencial (caso de OWL-DL) o son indecidibles (caso de la lógica de predicados de primer orden). Por ello, el uso de motores de inferencia sobre bases de conocimiento grandes no es factible hoy en día ni parece que lo pueda ser en el futuro.

Para superar este problema podemos utilizar varios enfoques, que necesariamente deben pasar por restringir el uso de los motores de inferencia en nuestros sistemas. Una posibilidad que se utiliza frecuentemente es usar ontologías ligeras, sobre las que se ejecute un razonador para expandir las consultas sobre la jerarquía de clases. La consulta expandida se realiza finalmente sobre una base de datos relacional convencional en la que están almacenadas las instancias. Esta clase de razonamiento puede ser implementado de forma eficiente, por lo que no plantea problemas de escalabilidad.

7. Conclusiones

En este artículo hemos presentado una revisión, incompleta por razones de espacio, del estado del arte en Web Semántica. Es incompleta en 2 aspectos: 1) no hemos incluido referencias a trabajos relevantes en el área y 2) no hemos incluido varias actividades de investigación relevantes relacionadas con la Web Semántica. Sería en cualquier caso casi imposible ser exhaustivo debido a la gran actividad investigadora existente en

este campo. Sin embargo, no queremos finalizar este artículo sin mencionar al menos dos actividades importantes: los Servicios Web Semánticos y los lenguajes de consulta para la Web Semántica.

Los Servicios Web son una tecnología *middleware* promovida por el W3C para la comunicación entre aplicaciones utilizando la Web. Los estándares de Servicios Web que están siendo desarrollados por el W3C proporcionan mecanismos para definir los interfaces ofrecidos por los servidores a los clientes que deseen utilizar un determinado Servicio Web. Sin embargo, no proporcionan ningún mecanismo para definir de manera formal las tareas que podemos realizar con un determinado servicio web ni la semántica de los datos que intercambian cliente y servidor. La idea de los Servicios Web Semánticos es dotar a los Servicios Web de descripciones formales que permitan el descubrimiento, acceso y composición automática de los mismos realizada por clientes inteligentes. Algunas referencias a trabajos relevantes en el campo de los Servicios Web Semánticos son [40], [41], [42], [43] y [44].

Los lenguajes de consulta se utilizan para representar formalmente la información que queremos obtener de una base de conocimiento (o una base de datos convencional). En el caso de la Web Semántica, existen varias propuestas de lenguajes de consulta para RDF, siendo probablemente la propuesta más prometedora SPARQL [37], que en la actualidad es un *Working Draft* (borrador de trabajo) del W3C.

La visión de la Web Semántica suscita gran controversia entre sus defensores y detractores. Los segundos estiman que nunca llegará a ser realidad. Sin embargo, empiezan a aparecer aplicaciones y prototipos que están basados en tecnologías de Web Semántica. Es difícil en este momento estimar el grado de cumplimiento que esta visión tendrá y en que momento empezará a generalizarse su despliegue y uso. Está claro que el primer requisito para que esto sea posible es que un número significativo de páginas web estén anotadas. Nosotros estimamos que este requisito necesitará para poder cumplirse un mayor desarrollo de los sistemas de anotación semántica existentes y la aparición de aplicaciones que promuevan su uso.

Probablemente el desarrollo de una Web Semántica con todas las potencialidades que se proponían en [1] está aún muy lejano si es que algún día llega a materializarse. Sin embargo, los autores pensamos que las tecnologías que están siendo desarrolladas sin duda permitirán en un futuro próximo un uso más automatizado, amigable y eficiente de la Web.

Referencias

- [1] **T. Berners-Lee, J. Hendler, O. Lassila.** "The Semantic Web: A new form of Web content that is meaningful to computers will unleash a revolution of new possibilities". *Scientific American*, Mayo 2001.
- [2] **World Wide Web Consortium (W3C)**, <<http://www.w3.org>> [2-11-2005].
- [3] **Resource Description Framework (RDF)**. W3C Semantic Web Activity. <<http://www.w3.org/RDF/>> [2-11-2005]. Contiene enlaces a todas las Recomendaciones del W3C sobre RDF.
- [4] **R. Studer, V.R. Benjamins, D. Fensel.** "Knowledge Engineering: Principles and Methods". *IEEE Transactions on Data and Knowledge Engineering* 25(1-2):161-197, 1998.
- [5] **T.R. Gruber.** "A Translation Approach to Portable Ontology Specification". *Knowledge Acquisition* 5(2):199-220, 1993.
- [6] **W.N. Borst.** Construction of Engineering Ontologies. Centre for Telematica and Information Technology, University of Twente. Enschede. The Netherlands, 1997.
- [7] **RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema**. W3C Recommendation 10 February 2004. <<http://www.w3.org/TR/rdf-schema/>> [2-11-2005].
- [8] **Web Ontology Language (OWL)**. W3C Semantic Web Activity. <<http://www.w3.org/2004/OWL/>> [2-11-2005]. Contiene enlaces a todas las Recomendaciones del W3C sobre OWL.
- [9] **J. Kahan, M-R. Koivunen, E. Prud'Hommeaux, R.R. Swick.** Annotea: An Open RDF Infrastructure for Shared Web Annotations. In WWW10 Conference, Hong Kong, Mayo 1-5 2001.
- [10] **SHOE Knowledge Annotator.** Disponible en <<http://www.cs.umd.edu/projects/plus/SHOE/KnowledgeAnnotator.html>>.
- [11] **A. Kalyanpur, J. Hendler, B. Parsia, J. Golbeck.** SMORE - Semantic Markup, Ontology, and RDF Editor. Disponible en <<http://www.mindswap.org/papers/SMORE.pdf>>.
- [12] **S. Handschuh, S. Staab.** Authoring and Annotation of Web Pages in CREAM. *Proceedings of the 11th International World Wide Web Conference*, WWW 2002, Honolulu, Hawaii, Mayo 7-11, 2002. ACM Press.
- [13] **M. Tallis.** Semantic Word Processing for Content Authors. *Second International Conference on Knowledge Capture (K-CAP 2003)*, Sanibel, Florida, USA, 2003.
- [14] **P. Kogut, W. Holmes.** AeroDAML: Applying Information Extraction to Generate DAML Annotations from Web Pages. *First International Conference on Knowledge Capture (K-CAP 2001)*. Workshop on Knowledge Markup and Semantic Annotation, Victoria, B.C. Octubre, 2001.
- [15] **S. Dill, N. Eiron, D. Gibson, D. Gruhl, R. Guha, A. Jhingran, T. Kanungo, S. Rajagopalan, A. Tomkins, J.A. Tomlin, J.Y. Zien.** SemTag and Seeker: Bootstrapping the semantic web via automated semantic annotation. *WWW2003 Conference*, Budapest, Hungary, Mayo 2003.
- [16] **S. Handschuh, S. Staab, F. Ciravegna.** S-CREAM: Semi-automatic CREATION of Metadata *Proceedings of the European Conference on Knowledge Acquisition and Management - EKAW-2002*. Madrid, Octubre 1-4, 2002.
- [17] **P. Cimiano, S. Handschuh, S. Staab.** Towards the Self-annotating Web. In the *13th International World Wide Web Conference*, WWW 2004, pp. 462-471, New York, USA, Mayo 17-22, 2004.
- [18] **P. Cimiano, G. Ladwig, S. Staab.** Gimme' The Context: Context-driven Automatic Semantic

Annotation with C-PANKOW. In the *14th International World Wide Web Conference*, WWW 2005, Chiba, Japan, Mayo 10-14, 2005.

- [19] **B. Popov, A. Kiryakov, A. Kirilov, D. Manov, D. Ognyanoff, M. Goranov.** KIM, Semantic Annotation Platform. *Proceedings of Second International Semantic Web Conference*, ISWC 2003, LNCS 2870, pp. 835-849.
- [20] **M. Vargas-Vera, E. Motta, J. Domingue, M. Lanzoni, F. Stutt, F. Ciravegna.** MnM: Ontology Driven Semi-Automatic and Automatic Support for Semantic Markup. In *13th International Conference on Knowledge Engineering and Management (EKAW 2002)*, Springer Verlag, 2002.
- [21] **J. Wielemaker, A.Th. Schreiber, B.J. Wielinga.** Supporting Semantic Image Annotation and Search. In *Annotations for the Semantic Web*. Handschuh, S. and Staab, S. (Eds.), pp. 147-155, IOS Press, 2003.
- [22] **P. Cano, M. Koppenberger.** Automatic sound annotation. *Machine Learning for Signal Processing*, 2004. *Proceedings of the 2004 14th IEEE Signal Processing Society Workshop*, page(s):391 - 400, 29 Sept.-1 Oct., 2004.
- [23] **S. Bloehdorn, K. Petridis, C. Saathoff, N. Simou, V. Tzouvaras, Y. Avrithis, S. Handschuh, Y. Kompatsiaris, S. Staab, M.G. Strintzis.** Semantic Annotation of Images and Videos for Multimedia Analysis. In *Proceedings of the Second European Semantic Web Conference*, ESWC 2005, LNCS 3532, pp. 592-607, Mayo 2005.
- [24] **A. Patil, S. Oundhakar, A. Sheth, K. Verma.** METEOR-S Web service Annotation Framework. In *Proceedings of the 13th International World Wide Web Conference*, WWW 2004, pp. 553-562, New York, USA, Mayo, 2004.
- [25] **M. Fernández-López, A. Gómez-Pérez, N. Jurista.** METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering. *Spring Symposium on Ontological Engineering of AAAI*. Stanford University, California, 1997.
- [26] **S. Staab, H.P. Schnurr, R. Studer, Y. Sure.** "Knowledge Processes and Ontologies". *IEEE Intelligent Systems* 16(1):26-34, 2001.
- [27] **Protegé**, <<http://protege.stanford.edu/>> [22-12-2005].
- [28] **InferEd**, <<http://www.intelldimension.com/pages/site/products/infered/default.jsp>> [22-12-2005].
- [29] **WebODE**, <<http://webode.dia.fi.upm.es/WebODEWeb/index.html>> [22-12-2005].
- [30] **A. Gómez-Pérez.** Evaluation of Ontologies. *International Journal of Intelligent Systems* 16(3):391-409, 2001.
- [31] **C. Welty, N. Guarino.** Supporting Ontological Analysis of Taxonomic Relationships. *Data and Knowledge Engineering* 39(1):51-74.
- [32] **Jena**, <<http://jena.sourceforge.net/index.html>> [22-12-2005].
- [33] **Pellet OWL-DL Reasoner**, <<http://www.mindswap.org/2003/pellet/index.shtml>>, [22-12-2005].
- [34] **Michael Sintek, Stefan Decker.** TRIPLE—A Query, Inference, and Transformation Language for the Semantic Web. *International Semantic Web Conference (ISWC)*, Sardinia, June 2002.
- [35] **RuleML**, <<http://www.ruleml.org/>> [22-12-2005].
- [36] **SWRL: Semantic Web Rule Language.** Propuesta enviada al W3C. <<http://www.w3.org/Submission/2004/SUBM-SWRL-20040521/>> [22-12-2005].
- [37] **SPARQL Query Language for RDF.** W3C Working Draft 23-11-2005. <<http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>>.

[38] **OilEd**, <<http://oiled.man.ac.uk/>> [23-12-2005].

[39] **SESAME**, <<http://www.openrdf.org/>> [23-12-2005].

[40] **OWL-S: Semantic Markup for Web Services**, <<http://www.daml.org/services/owl-s/1.1/overview/>> [23-12-2005].

[41] **David Martin, Massimo Paolucci, Sheila McIlraith, Mark Burstein, Drew McDermott, Deborah McGuinness, Bijan Parsia, Terry Payne, Marta Sabou, Monika Solanki, Naveen Srinivasan, Katia Sycara,** "Bringing Semantics to Web Services: The OWL-S Approach", *Proceedings of the First International Workshop on Semantic Web Services and Web Process Composition (SWSWPC 2004)*, Julio 6-9, 2004, San Diego, California, USA.

[42] **Web Service Modeling Ontology**, <<http://www.wsmo.org>> [23-12-2005].

[43] **Dumitru Roman, Uwe Keller, Holger Lausen, Jos de Bruijn, Rubén Lara, Michael Stollberg, Axel Polleres, Cristina Feier, Christoph Bussler, and Dieter Fensel.** "Web Service Modeling Ontology", *Applied Ontology*, 1(1): 77 - 106, 2005.

[44] **R. Akkiraju, J. Farrell, J. Miller, M. Nagarajan, M. Schmidt, A. Sheth, K. Verma.** "Web Service Semantics - WSDL-S", A joint UGA-IBM Technical Note, version 1.0, April 18, 2005.

Referencias

¹ Del griego *semantikos*, significado, del griego *meta*, más allá, y del latín *datum*, dato: dato acerca del significado de otro dato.

² Del griego *semantikos*, significado, y del latín *annotare*, añadir una nota: añadir una nota para explicar el significado de un símbolo.