

Diseño de Servicios Web Semánticos utilizando el desarrollo de software dirigido por modelos*¹

[Semantic Web Services design using model-driven software development]

WILMAN VEGA², HENRY UMAÑA³

RECIBO: 20.11.2013 – APROBACIÓN: 04.04.2014

Resumen

Los Servicios Web Semánticos ofrecen beneficios, que coadyuvan a la evolución de la Web, como el descubrimiento, invocación y composición dinámica y automática de recursos, habilitan efectivamente la interoperabilidad entre sistemas, permitiendo una amplia gama de nuevos servicios y oportunidades de negocios en la Internet. La estructura necesaria para proveer estos beneficios, hace que su desarrollo sea un proceso complejo, requiriendo establecer formas más fáciles y dinámicas que garanticen reutilización, calidad y rapidez. El desarrollo dirigido por modelos realiza una contribución eficiente en estos aspectos, dado que trabaja de manera intrínseca conceptos como separación de conceptos, reusabilidad e interoperabilidad entre componentes. En este artículo se presenta un enfoque para desarrollo de software dirigido por modelos, orientado

* **Modelo para la citación de este artículo:**

VEGA, Wilman & UMAÑA, Henry (2014). Diseño de Servicios Web Semánticos utilizando el desarrollo de software dirigido por modelos. En: Ventana Informática No. 30 (ene-jun). Manizales (Colombia): Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales. p. 97-108. ISSN: 0123-9678

- 1 Artículo de investigación científica y tecnológica proveniente del proyecto *Herramienta prototipo para generación automática de Servicios Web Semánticos a través del desarrollo de software dirigido por modelos* ejecutado en el periodo 08/2012-06/2013, e inscrito en el grupo de investigación *Colectivo de Investigación en Ingeniería de Software - CoISWE* de la Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial. [Tesis para optar al título de maestría, por parte del primer autor, con dirección del segundo]
- 2 Ingeniero de Sistemas, Estudiante de maestría Ingeniería de Sistemas y Computación. Ingeniero de Sistemas, Universidad Popular del Cesar (Valledupar, Cesar, Colombia). Correo electrónico: wjvegac@unal.edu.co
- 3 Ingeniero de Sistemas, MSc. en Ingeniería de Sistemas y Computación. Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial, Universidad Nacional de Colombia; Director DNIC - UNAL Universidad Nacional de Colombia (Bogotá D.C., Colombia). Correo electrónico: hrumana@unal.edu.co

al desarrollo de los servicios web semánticos, donde inicialmente se plantean las fases correspondientes al análisis, diseño y desarrollo dentro de la metodología propuesta, aplicando la metodología sobre un pequeño caso de estudio y obtener como resultado la estructura de un Servicio web semántico.

Palabras Clave: *Servicios web semánticos, Desarrollo dirigido por modelos, ontologías web.*

Abstract

Semantic Web Services offers benefits that contribute to Web evolution. Benefits such as automatic discovery and invocation, and dynamic composition, effectively enables systems interoperability, allowing a wide range of services and Internet businesses. The necessary structure to provide those benefits by Semantic Web Services makes its development a complex process. It necessary to establish more easy and dynamic ways to develop this kind of software, in order to assure reuse, quality and speediness in the development process. The model-driven software development makes an efficient contribution in those aspect, because it works intrinsically concepts related such separation of concerns, reusability and components interoperability. In this paper we present an approach to model-driven development software applied to Semantic Web Services. First, we establish the phases corresponding to the analysis, design and development in the proposal methodology, by applying it to a case of study we obtain the structure of a Semantic Web Services.

Keywords: *Semantic Web Services, Model-Driven Development, Web Ontologies.*

Introducción

Existen muchas ventajas al usar los servicios web, entre las que se resaltan, de acuerdo con Brambilla et al. (2007, 1), la interoperabilidad entre aplicaciones y la definición de un esquema independiente de la plataforma en que se instalen. «Los servicios web semánticos son una extensión de los servicios web, al definir elementos semánticos dentro de ellos» (Pan et al. 2006, 1), de esta manera, al especificar estos elementos, los servicios web semánticos son también llamados servicios inteligentes, porque pueden realizar descubrimiento automático de servicios, ejecución y composición entre servicios e interoperación, según Hyuk Yang & Jeong Chung (2006, 523).

Es claro que, siguiendo a Brambilla et al. (2007, 1), los servicios web semánticos son una tecnología clave que tiene mucha incidencia actualmente y será mucho más relevante en el futuro, lo que implica revisar cuidadosamente los procesos de desarrollo que se implementan para los servicios web semánticos, así como las tecnologías y los paradigmas a utilizar.

Uno de estos paradigmas que está tomando bastante auge es el desarrollo dirigido por modelos, especialmente para, según Grønmo, Jaeger & Hoff (2005, 270), establecer estrategias en el desarrollo de servicios web semánticos que ofrezcan la independencia entre los diferentes estándares y lenguajes semánticos.

El presente artículo se estructura de la siguiente manera: inicialmente se presentan los conceptos básicos acerca de los servicios web semánticos, luego se hace una revisión sobre el trabajo relacionado existente, en la siguiente sección se describe la aplicación del enfoque del desarrollo dirigido por modelos para servicios web semánticos, tomando como referencia la implementación *Semantic Markup for Web Services (OWL-S)*, y finalmente se presentan los resultados y las conclusiones del trabajo.

1. Fundamento teórico

1.1 Servicios Web Semánticos

«Un servicio web es un componente de software modular bien definido que expone una interface sobre la red. El uso de los servicios web se hace a través del intercambio de mensajes XML a través del protocolo HTTP» OMG (2003). Este sistema modular bien definido, afirman Timm & Gannod (2005, 315), proporcionan las bases para el intercambio de información entre organizaciones de manera uniforme y modular, permitiendo realizar procesos de interoperabilidad entre aplicaciones de forma fácil.

El objetivo del servicio web es soportar una infraestructura abierta para *aplicaciones web inteligentes*. También deben tener una descripción específica que determine su definición, para qué está hecho el servicio web y cuáles servicios se puedan invocar.

Los servicios web semánticos son considerados, por Timm & Gannod (2005, 313), como una extensión a los servicios web, que proporcionan ventajas como el descubrimiento automático de servicios, la invocación automática del servicio, y la composición e interoperabilidad del servicio web. Además consideran que la infraestructura para los servicios web semánticos debe ser acorde con un mecanismo similar a la infraes-

estructura de servicios web, para lo que los servicios web semánticos definen sus IOPE⁴.

1.1.1 Ontologías Web. El objetivo de la web semántica es proporcionar datos que sean entendidos por máquinas, y que sean compartidos en red. Para esto, Gaevic, Djuric & Devedic (2009, 91), indican que la web semántica es apoyada por metadatos, que a su vez son conceptualizados y descritos por ontologías que le dan el significado para que exista tal entendimiento. Esa conceptualización, para Gruber (1993, 199), se constituye en la base fundamental de un cuerpo formal de conocimiento, junto con los objetos, conceptos y relaciones dentro de este cuerpo formal, un punto de vista abstracto y simplificado, con el cual se quiere representar algo para un propósito específico.

Una ontología, considera Gruber (1993, 199), es una especificación explícita de una conceptualización. Ontología es un término tomado de la filosofía, que comparte con el área de ciencias de la computación, la significación de representación de ideas y conceptos dentro de un dominio específico, y las relaciones entre ellos. Una de las representaciones más útiles de las ontologías, son los modelos. En la figura 1, se muestra un ejemplo simple de ontología con sus elementos.

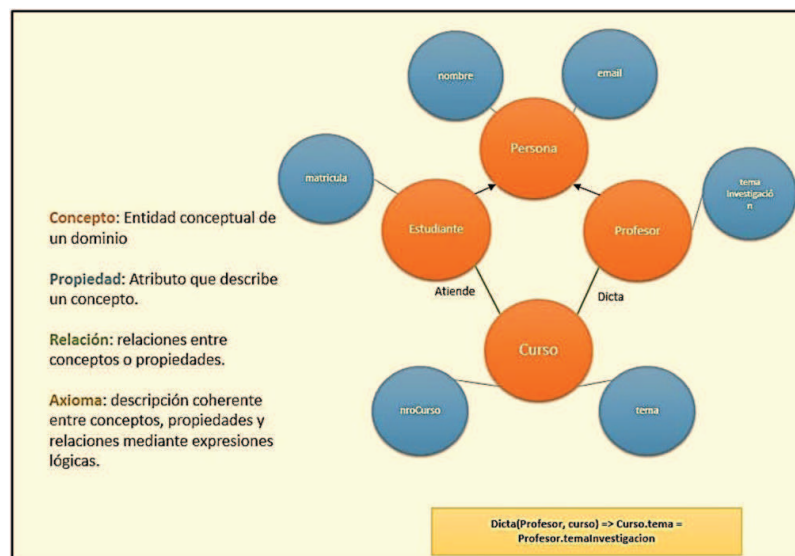


Figura 1. Ejemplo de Ontología con sus elementos (Burstin et al, 2004)

- 4 De acuerdo con Yang & Chung (2006, 523-524): - Las entradas (Inputs) definen que tipos de datos requieren los servicios, - La salida (Output) describe lo que será entregado por el servicio web, - Las precondiciones (Preconditions) establecen registros del estado que debe mantener para ofrecer el servicio, y - Los efectos (Effects) consideran los elementos que cambian de estado (verdadero) si el servicio es ejecutado satisfactoriamente.

1.1.2 Lenguaje de ontología web para servicios web semánticos (OWL-S). OWL-S se estructura bajo una ontología superior, un metamodelo que describe los servicios, motivados por tres tipos de conocimientos acerca del servicio. Cada conocimiento es caracterizado por una pregunta, que se responde inmediatamente. En la Figura 2 se refleja esta estructura.

- **Perfiles de Servicio.** Una transacción en un servicio web involucra tres partes: El que solicita el servicio, el proveedor del servicio, y la infraestructura subyacente. Un perfil de servicios en OWL-S, señalan Burstein et al (2004), describe un servicio que es ofrecido a los solicitantes, por los proveedores de servicio, tomando como base esta infraestructura subyacente.

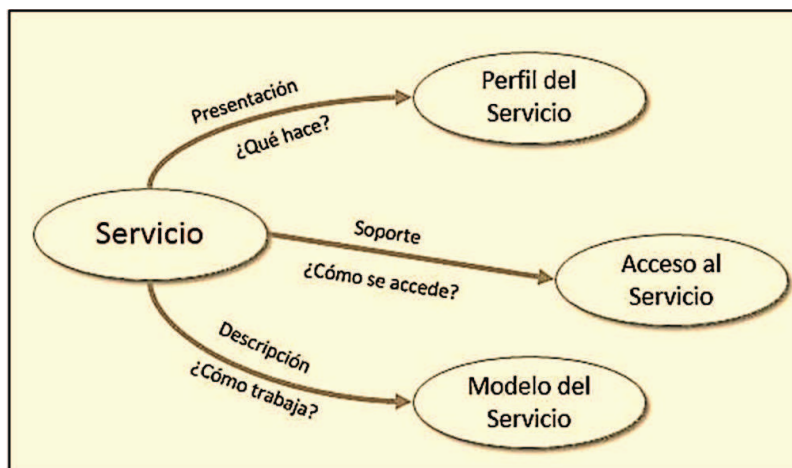


Figura 2. Ontología superior de servicios en OWL-S (Burstein et al, 2004)

Un perfil de servicio en OWL-S describe un servicio en base a tres partes básicas de información: la información del proveedor, la función que cumple el servicio y un conjunto de atributos que especifican las características del servicio. Utilizando la notación de clases y subclases dentro de OWL-S, se puede esquematizar un perfil de servicio como se muestra en Figura 3.

- **Modelo de servicio.** El modelo de servicios en OWL-S se compara con un modelo de proceso. De manera específica, en OWL-S se establecen las subclases *Service Model Process* para realizar un modelo de servicios, que representa la(s) manera(s) como el solicitante puede acceder al servicio. Esta representación tiene más que ver con la forma de operación, que con el acceso como tal, que es definido por otra característica de los servicios.

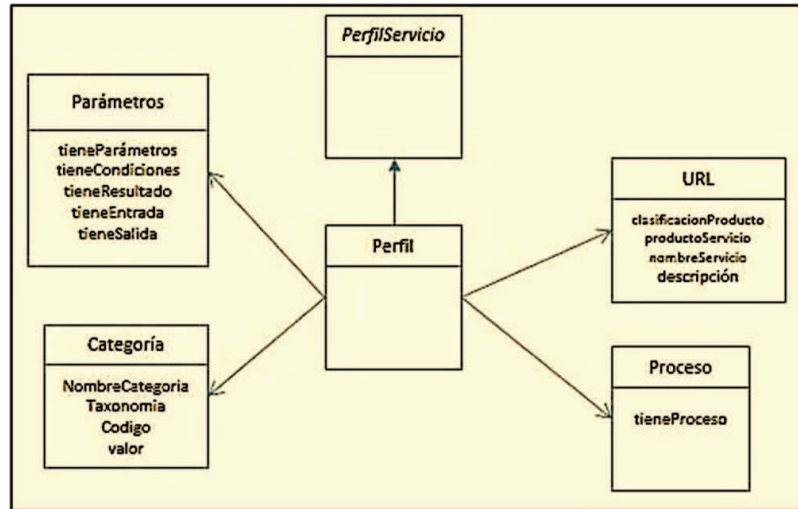


Figura 3. Esquematización de un perfil de servicios OWL-S
(Elaboración propia basado en Burstein et al., 2004)

En OWL-S hay dos tipos de procesos, procesos atómicos, que describen un servicio que espera un mensaje y retorna otro mensaje en respuesta. Y un proceso compuesto, que describe un servicio que mantiene un estado, donde cada vez que el solicitante envía un mensaje, se avanza a través del proceso. El modelo de servicios en OWL-S, según Burstein et al (2004), especifica de manera detallada la infraestructura *IOPE*, de los modelos de servicios web semánticos, pero con algunos detalles dentro de su composición.

- **Acceso a servicios.** El acceso a los servicios dentro de OWL-S, establece en detalle la forma cómo se acceden a ellos, desde el punto de vista del protocolo, los formatos de los mensajes, *serialización*, transporte y direccionamiento. Teniendo en cuenta esto, el acceso a servicios es representado de manera concreta y no abstracta, como el perfil de servicios y el modelo de servicios, ya que maneja elementos concretos de acceso relacionados con plataformas y otros elementos de un nivel de abstracción más bajo.

El acceso a servicios dentro de OWL-S, puede ser descrito a través del lenguaje de descripción de servicio web (*Web Service Description Language, WSDL*), permitiendo la complementariedad entre los dos lenguajes.

1.2 Trabajos relacionados

Kalantari, Ibrahim & Taherdoost (2011, 1) sintetizan los enfoques de desarrollo dirigido por modelos aplicados al desarrollo de servicios web

semánticos bajo tres categorías: los basados en principios y metodologías de Ingeniería de Software, que proveen soluciones metodológicas y aplican buenas prácticas en el enfoque del desarrollo dirigido por modelos (*Model-Driven Development, MDD*), para la generación de especificaciones semánticas y la composición los servicios web; los basados en la aplicación formal de UML, los cuales establecen los diagramas UML para la descripción de los elementos semánticos, entre los que se destacan Kim & Lee (2009), Yang & Chung (2006), y Timm & Ganmod (2005); y finalmente, los que se basan en metamodelos, que disponen de modelos y metamodelos independientes de la especificación semántica, cómo lo establecen, por ejemplo, Amar Bensaber & Malki (2008), Belouadha, Omrana & Roudiès (2010), y Lautenbacher & Bauer (2007).

Es importante resaltar que dentro de esta clasificación, que los enfoques están basados principalmente en la arquitectura dirigida por modelos (*Model-Driven Architecture, MDA*), un estándar del MDD que se estructura fundamentalmente en perfiles UML y está orientado a herramientas gráficas. Esto se debe a que el MDA es un estándar en la industria del desarrollo, establecido por la *Object Management Group* (OMG).

Dentro de los enfoques clasificados, aquellos que se basan en metodologías de software, buscan abordar fases más allá de la construcción de servicios web semánticos o sus componentes. Estos enfoques proponen su implementación incluyendo las fases del ciclo de vida del desarrollo de software. MIDAS-S, de acuerdo con Acuña & Marcos (2006, 33-34), por ejemplo, en una de las dimensiones que estructuran su propuesta, establece de manera ortogonal el desarrollo de las fases del ciclo de vida del software, comprendiendo desde el análisis (Modelado conceptual), hasta el modelado físico y la implementación. Brambilla et al. (2007), con *WebML* y Torres, Pelechano & Pastor (2006), hacen lo propio con sus propuestas, comprendiendo las etapas de desarrollo, desde el diseño hasta la implementación.

1.2.1 Enfoque MDD aplicado al modelado de servicios web semánticos. Al igual que las metodologías de desarrollo de software, el paradigma del desarrollo dirigido por modelos también tiene sus fases.

Stahl, Voelter & Czarnecki (2006, 22), propusieron una metodología para la aplicación del paradigma de desarrollo de software, que se denomina comúnmente como enfoque MDD. En este trabajo se sigue y se adapta esta metodología para su aplicación con el desarrollo de un tipo de software: Servicios web semánticos, basándose en la especificación OWL-S. Las fases pueden agruparse en etapas, van desde la etapa de pre análisis, análisis, diseño e implementación y pruebas.

La etapa de pre análisis, tiene como parte fundamental, el desarrollo de la implementación de referencia. La etapa de análisis corresponde a la identificación de los diferentes tipos de códigos que se obtienen de la implementación de referencia: Esquemático, repetitivo e individual. La etapa de diseño corresponde a las fases diseño del modelo de la aplicación, que establece el modelado del lenguaje específico de dominio, del dominio de la implementación de referencia y las transformaciones que son requeridas durante esta fase. Y por último, la etapa de implementación y pruebas, donde se establecen las fases de generación de código y la realización de pruebas sobre el código generado.

2. Metodología

2.1 La implementación de referencia

En la fase de implementación de referencia se desarrolla la aplicación, o se toma una aplicación ya desarrollada, que servirá como referencia para las fases futuras. De esta implementación se toman las características para el modelado y el resultado del proceso debe quedar de tal forma que se pueda reproducir tal implementación en un nivel de avance significativo.

Para la implementación de referencia, se toma un ejemplo de una implementación en la web de una especificación OWL-S. *Zipcodefinder*, es una aplicación que busca los códigos postales de estados unidos mediante el código de área, ciudad o estado, siendo una de las primeras aplicaciones de ejemplo que realizan una especificación completa de OWL-S.

Dentro de la aplicación de ejemplo se encuentran los elementos descritos de la especificación: El perfil del servicio (*profiles*), el acceso a los servicios (*groundings*) y el modelo de servicios (*process*). También se identifican las ontologías utilizadas en esta aplicación. Una aplicación que implementa un servicio web basado en OWL-S por lo generar tiene su archivo principal con extensión OWL⁵.

2.2 Identificación de código de la implementación de referencia

En esta fase se hace un análisis del código de la implementación de referencia. De este análisis se deben obtener tres tipos de código:

⁵ La especificación de ejemplo está alojada en <http://www.mindswap.org/2004/owl-s/1.1/ZipCodeFinder.owl>

- Un código genérico, que es idéntico para todas las implementaciones futuras de la aplicación; un código repetitivo esquemático, que no es idéntico para cada aplicación, pero tiene las mismas características sistemáticas a través de las aplicaciones (ejemplo: se repite utilizando un patrón); y un código individual, o específico de la aplicación, que no puede ser generalizado a otras implementaciones.
- El código genérico identificado en la implementación de referencia, está representado por el código de encabezado de la especificación OWL-S, que consiste en la importación de ontologías. El código esquemático repetitivo se identifica rápidamente en la especificación. Corresponde a cada uno de los elementos que hacen parte de la especificación (*profiles*, *process*, *groundings*). Estos elementos se repiten dentro de la especificación, con algunas diferencias que son definidas por las propiedades de cada uno de estos elementos.
- El código individual hace parte de la implementación del servicio web como tal, este código debe ser generado por el desarrollador para poder implementar el servicio. El alcance de este trabajo está limitado al modelado de la especificación del servicio web. La implementación del servicio queda por fuera de este alcance de este artículo.

2.3 Determinación del metamodelo de la aplicación

Una vez identificados los tipos de código de la implementación de referencia, es necesario establecer el metamodelo de la aplicación, que servirá de base para el diseño del lenguaje específico de dominio que comprende la siguiente fase. Para el desarrollo del metamodelo no se requirieron herramientas especiales, la especificación puede hacerse por medio de UML, y en este trabajo se utilizó la herramienta *Ecore* de *Eclipse* que se integra con las otras herramientas que se utilizaron en la aplicación del enfoque.

Dentro del metamodelo de la aplicación se tienen las siguientes entidades: Modelo, representa el modelo de la especificación en su conjunto; ontología, que representa la ontología (o las ontologías) a utilizar; Los servicios, y en un nivel de modelo están: Los perfiles, los procesos y los Accesos (*groundings*).

2.4 Diseño del lenguaje específico de dominio (DSL)

Esta fase consiste en el diseño del DSL, basado en el metamodelo obtenido en la fase anterior. En esta fase se establece una línea con el código generado y el dominio de la aplicación. En este punto se estableció a través de la herramienta *Xtext* el DSL de la especificación de referencia.

2.5 Plantillas de generación de código automático

Una vez se obtenido el DSL diseñado, este se proporcionó como insumo a la herramienta *Xtend*, para que hacer la interpretación del DSL y realizar la generación de código automático. Con la herramienta *Xtend* y el DSL como insumo, se insertan los tipos de código identificados en la fase de análisis. El código genérico se introduce tal y como se encuentra en la implementación de referencia, y se implementan los patrones de código necesarios para poder adaptar el código esquemático repetitivo. En este trabajo se utilizó el patrón de diseño denominado *Delegate*.

3. Resultados y discusión

3.1 Descripción de resultados

En este trabajo se ha seguido de manera sistemática una metodología para la aplicación del enfoque MDD en el diseño y desarrollo de servicios web semánticos. En la última etapa de la metodología se realiza una prueba sobre la implementación generada.

En la mayoría de los casos la implementación obtenida no corresponde en su totalidad a la implementación de referencia, debido, según Stahl, Voelter & Czarnecki (2006, 23-25), a que no se puedan desarrollar aplicaciones completamente funcionales a partir del desarrollo dirigido por modelos.

3.2 Discusión de resultados

La aplicación del enfoque MDD al desarrollo de servicios web semánticos muestra ventajas sobre los enfoques tradicionales y los enfoques MDA que son fundamentalmente gráficos. La forma de trabajo de la metodología y la estructuración del enfoque permite dividir los roles dentro del desarrollo de servicios web semánticos. El enfoque MDD apoya la generación de modelos y metamodelos basados en texto, lo que permite construir herramientas de desarrollo más versátiles, para generar aplicaciones más grandes y complejas. Así mismo, estas herramientas son más fáciles de integrar, que las que siguen enfoques tradicionales o basados en MDA.

4. Conclusiones

El enfoque de MDD aplicado al desarrollo de servicios web semánticos muestra una clara tendencia a un posicionamiento como estrategia clave en el futuro para este tipo de desarrollos. En la comunidad académica

y empresarial son cada vez mayores, a pesar de que es un tema relativamente nuevo.

La aplicación del enfoque MDD tiene ciertas ventajas en cuanto a la aplicación de metodologías tradicionales, pues las herramientas utilizadas en este trabajo fueron fundamentales para el desarrollo del enfoque y particularmente ventajosas para su aplicación con servicios web semánticos, que constituyen cierta complejidad en sus etapas tanto de desarrollo como de implementación. El enfoque es debido a la sencillez y simplicidad de sus pasos.

Referencias bibliográficas

- ACUÑA, César & MARCOS, Esperanza (2006). Modeling semantic web services: a case study. In: 6th international conference on Web engineering, ICWE 2006 (11-14/07/2006), Palo Alto (CA, USA): ACM. Proceedings of the ICWE 2006. p. 32-39. ISBN: 1-59593-352-2.
- AMAR BENSABER, Djamel & MALKI, Mimoun (2008). Development of semantic web services: model driven approach. In 8th international conference on new technologies in distributed systems, NOTERE 2008 (23-27/06/2008), Lyon (France): ACM. Proceedings of the NOTERE 2008. p 1-11. ISBN: 978-1-59593-937-1
- BELOUADHA, Fatima-Zahra; OMRANA, Hajar & ROUDIËS, Ounsa (2010). A model-driven approach for composing SAWSDL semantic Web services. In: International Journal of Computer Science Issues, IJCSI, Vol. 7, No. 4 (Jul). Mahebourg (Republic of Mauritius). National Library of the Republic of Mauritius p. 7–15. ISSN: 1694-0784
- BRAMBILLA, Marco; CERI, Stefano, FACCA, Federico Michele; CELINO, Irene; CERIZZA, Dario & DELLA VALLE, Emanuele (2007). Model-driven design and development of semantic Web service applications. In: ACM Transactions on Internet Technology, TOIT, Vol. 8, No. 1, Art. 3 (Nov). New York (NY, USA): ACM. p 1-29. ISSN: 1533-5399.
- BURSTEIN, Mark; HOBBS, Jerry; LASSILA, Ora; MCDERMOTT, Drew; MCILRAITH, Sheila; NARAYANAN, Srini; PAOLUCCI, Massimo; PARSIA, Bijan; PAYNE, Terry; SIRIN, Evren; SRINIVASAN, Naveen & SYCARA, Katia (2004). OWL-S: Semantic markup for web services [online]. Menlo Park (CA, USA): W3C. <<http://www.w3.org/Submission/OWL-S/>> [consult: 03/03/2012]
- GAEVIC, Dragan; DJURIC, Dragan & DEVEDIC, Vladan (2009). The MDA-Based Ontology Infrastructure. In: Model Driven Engineering and Ontology Development. Berlin (Germany). Springer Berlin Heidelberg, p. 207-214. ISBN: 97-83-6420-0281-6.
- GRØNMO, Roy; JAEGER, Michael & HOFF, Hjørdis (2005). Transformations between UML and OWL-S. In: Model Driven Architecture – Foundations and Applications. Berlin (Germany): Springer Berlin Heidelberg. p. 269-283. ISSN: 0302-9743
- GRUBER, Thomas (1993). A Translation Approach to Portable Ontology. In: Journal Knowledge Acquisition - Special issue: Current issues in knowledge modeling, Vol. 5. No. 2 (Jun). London, UK. p. 199-220. ISSN: 1042-8143
- HYUK YANG, Jin & JEONG CHUNG, In (2006). Automatic Generation of Service Ontology from UML Diagrams for Semantic Web Services. In: First Asian conference on The Semantic Web, ASWC 2006 (3-7/09/2006), Beijing (China). Proceedings of the ASWC 2006. p. 523-529. ISBN: 3-540-38329-8 978-3-540-38329-1
- KALANTARI, Alaeddin; IBRAHIM, Suhaimi & TAHERDOOST, Hamed (2011). A categorization of model-driven approaches for developing Semantic Web Service. In: 3rd International Conference on Data Mining and Intelligent Information Technology Applications, ICMIA 2011. (24/10/2011) Macao, China. Lecture Notes in Electrical Engineering Volume 114, 2012, p. 395-404. ISBN: 978-94-007-2791-5.

- KIM, Il-Woong & LEE, Kyong-Ho (2009). A Model-Driven Approach for Describing Semantic Web Services: From UML to OWL-S. In: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, Vol. 39, No. 6 (Nov). Washington (USA). p. 637-646. ISSN: 1094-6977.
- LAUTENBACHER, Florian & BAUER, Bernhard (2007). Creating a Meta-Model for Semantic Web Service Standards. In: 3rd International Conference on Web Information System and Technologies, WEBSIST, (3-6/03/2007). Barcelona (Spain): Institute for Systems and Technologies of Information, Control and Communication, INSTICC. Proceedings of the WEBSIST 2007. p. 376-381. ISBN: 978-972-8865-78-8.
- OBJECT MANAGEMENT GROUP, OMG (2003). MDA Guide Version 1.0.1 [online]. Massachusetts (USA): Object Management Group. <<http://www.omg.org/cgi-bin/doc?omg/03-06-01.pdf>> [consult: 03/03/2012]
- PAN, Yue; XIE, Guotong; MA, Li; QIU, Zhaoming & LEE, Juhnnyoung (2006). Model-Driven Ontology Engineering. In: Lecture Notes in Computer Science, vol. 4244. Berlin (Germany): Springer Berlin Heidelberg. p. 57-78. ISSN: 0302-9743.
- STAHL, Thomas; VOELTER, Markus & CZARNECKI, Krzysztof (2006). Model-Driven Software Development: Technology, Engineering, Management. New York (NY, USA): Wiley. 446 p. ISBN: 978-0470025703
- TIMM, Jhon T. E. & GANNOD, Gerald C. (2005). A model-driven approach for specifying semantic Web services. In: 3rd. IEEE International Conference on Web Services, 2005, ICWS 2005 (11-15/07/2005), IEEE. Proceedings of the ICWS 2005, Vol. 1, p. 313-320. ISBN: 0-7695-2409-5.
- TORRES, Victoria, PELECHANO, Vicente & PASTOR, Óscar (2006). Building Semantic Web Services Based on a Model Driven Web Engineering Method. In: international conference on Advances in Conceptual Modeling: theory and practice, CoMoGIS'06 (06-09/11/2006), Tucson (AZ, USA): Springer. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4231, p. 173-182. ISBN: 978-3-540-47703-7