

Modelo de interoperabilidad semántica entre Sistemas de Gestión de Aprendizaje¹

Model of Semantic interoperability between Learning Management Systems

Recibido: 04-11-2014 Aceptado: 29 -05-2015

Alex Julián Dorado²
Carolina González Serrano³
Jovani Alberto Jiménez Builes⁴

Resumen

Actualmente existen gran variedad de Sistemas de Gestión de Aprendizaje - *Learning Management System* (LMS), al servicio de todos los niveles educativos y las áreas académicas. Esta diversidad origina un problema de semántica en el conocimiento haciéndolo disperso e inexacto debido a que cada LMS maneja sus propios formatos, arquitecturas y especificaciones. Esto dificulta la interoperabilidad de la información entre diferentes plataformas afectando principalmente a los estudiantes. En el artículo se describe la propuesta de un modelo de interoperabilidad semántica para resolver las necesidades de intercambio de información caracterizadas de los LMS, a partir de las propuestas existentes de solución en el campo de las especificaciones de e-learning, los servicios Web y las ontologías en general.

Palabras clave: Interoperabilidad; contenidos de aprendizaje; sistemas de gestión de aprendizaje; Ontologías.

Abstract

Currently there are a variety of Learning Management Systems (LMS) to serve all levels of education and academic subject areas. This diversity creates a problem making semantic knowledge dispersed and inaccurate because each LMS has its own format, architecture and specifications. This makes difficult the interoperability of information across platforms mainly affecting students. This paper describes the proposal of a model of semantic interoperability to solve the needs of identified information exchange based on existing proposal for solutions in the field of e-learning specifications, Web services and ontologies.

¹ La investigación, se adelantó dentro del grupo de inteligencia Computacional en la universidad del Cauca-Colombia dentro del proyecto Modelo de interoperabilidad Semántica entre Sistemas de Gestión de Aprendizaje-Learning Management System LMS.

² Colombiano, Magister en Computación, Grupo de Investigación en Inteligencia Computacional-Universidad del Cauca-Colombia.
e-mail: adorado@unicauca.edu.co.

³ Colombiana, PhD in Information and Communications Technologies, Universidad del Cauca - Grupo de Investigación en Inteligencia Computacional-Colombia.
e-mail: cgonzals@unicauca.edu.co.

⁴ Colombiano, PhD in Informatics, Universidad Nacional de Medellín-Grupo de Investigación de Inteligencia Artificial en educación-Colombia.
e-mail: jajimen1@unal.edu.co.

Keywords: Interoperability; learning content; learning management systems; Ontologies.

Introducción

Para mejorar los alcances a diferentes tipos de población, la educación se ha apoyado en tecnologías soportadas sobre Internet denominadas e-learning (Enríquez, 2004). El e-learning ha permitido a la educación estructurarse en modalidades presenciales, semipresenciales y virtuales. Todo en procura de realizar prácticas pedagógicas a menudo personalizadas para lograr la interiorización y apropiación efectiva de los conocimientos que conforman el proceso educativo (Facundo, 2005). Estas tecnologías de soporte han evolucionando, y se han clasificado en tres grandes capacidades como: (i) Sistemas de Gestión de Aprendizaje - *Learning Management Systems* (LMS), (ii) Sistemas de Gestión de Contenido de Aprendizaje - *Learning Content Management Systems* (LCMS) y (iii) Sistemas de Tutoría Inteligente - *Intelligent Tutoring Systems* (ITS) (Mikic-Fonte *et al.*, 2010). En general, en cuanto a las funcionalidades tecnológicas, los LMS gestionan la información para los usuarios, los LCMS permiten generar, almacenar y transferir información en diversos formatos y especialmente en forma de Objetos de Aprendizaje (OA) - *Learning Objects* (LO) y los ITS posibilitan soluciones de acompañamiento personalizadas y administración de la ruta de enseñanza. Uno de los mayores desafíos tecnológicos de e-learning se planteó en términos de Interoperabilidad entre plataformas LMS y sus repositorios (Bueno de la Fuente, 2008; Lee, *et al.*, 2011; Baile, 2008); definió la interoperabilidad en tres niveles: (i) técnico, (ii) sintáctico y (iii) semántico. En e-learning, la interoperabilidad técnica permitió la interconexión en la comunicación de protocolos e intercambio de información entre los equipos informáticos que los soportan. La interoperabilidad sintáctica posibilita el intercambio de información en un formato común estandarizado. Y finalmente, la interoperabilidad semántica permitió el intercambio de información, utilizando un vocabulario común y compartido que evita inexactitudes en la interpretación del significado de los contenidos que se comparten. Así pues, a este nivel pertenecen los metadatos, los modelos de representación de la información, vocabularios y como estrategia innovadora las ontologías (Berners *et al.*, 2001). La definición más común de ontología en informática es la especificación formal y explícita de una conceptualización compartida de un domi-

nio. Esta contiene elementos entre clases, atributos, relaciones y axiomas lógicos para comprender el dominio representado (Myroshnichenko and Murphy, 2009). Las ontologías son representadas en lenguajes formales para hacerlas compatibles y procesables por las máquinas, como el caso del Lenguaje de Ontología Web (OWL) que fue recomendado por el W3C para su creación (Santoso *et al.*, 2011). El OWL le proporciona a las máquinas mayor interpretabilidad de los contenidos de: XML (Extensible Markup Language), RDF (Resource description Framework) y RDFS (RDF scheme), aportando vocabulario adicional junto con una semántica formal (Web-Ontology Working Group, 2004). El presente trabajo propone un modelo de interoperabilidad basado en ontologías entre LMS, considerando los niveles técnicos y sintácticos basados en el uso de estándares para documentación de Repositorios de Objetos de Aprendizaje ROA y modelos de representación relacionales de la información de los LMS, y a partir de ello propone un mecanismo ontológico para compartir información basado en la representación compartida del conocimiento.

Trabajos Relacionados

Los trabajos relacionados con la investigación se plantean alrededor de las directrices de:

- **Los modelos de interoperabilidad (MI) en computación.** Existen diversos marcos de trabajo para mejorar la interacción de sistemas y plataformas. Por ejemplo Goodchild (1999) y Munk (2005), analizaron la necesidad de intercambio de información entre los componentes, desde distribución de los sistemas y la explotación en los niveles técnicos, sintácticos y semánticos. Sus enfoques dan solución a i) Datos distribuidos, ii) Infraestructura global de la información y de computación distribuida, iii) Tecnología de la comunicación heterogénea, y iv) Necesidades de intercambio de información para lograr alcances en un sistema global. Estos modelos son planteados como mecanismos externos a los sistemas, el modelo de interoperabilidad (LCIM) (Tolk, 2004) se planteó como un modelo de interoperabilidad de niveles propuesto como mecanismo intermedio. Se describen los niveles más relevantes y afines a la investigación de este modelo: En el nivel 0, no se establece la conexión en absoluto. No hay interoperabilidad entre los sistemas. Los datos se utilizan dentro de cada sistema autónomamente. En el nivel 1, o nivel técnico de conectividad permitió interconexión física a través de bits. En el nivel 2, o nivel sintáctico,

se intercambiaron datos en formatos estandarizados o protocolos compatibles. En el nivel 3, o nivel semántico, se intercambiaron datos con su contexto, es decir, la información, se pudo intercambiar con su significado inequívoco *dado por los modelos de referencia comunes*.

• **Los mecanismos de interoperabilidad enfocados a e-learning.** A nivel técnico se encontraron los siguientes niveles: (i) comunicación, (ii) transporte, (iii) almacenamiento y (iv) representación de la información, como Z39.50 (Lynch, 1991), OAI-PMH (Barrueco y Coll, 2003) y SOAP (Box *et al.*, 2000), entre otros. A nivel sintáctico marcos trabajo para intercambio de materiales en base a las especificaciones de lenguajes, mensajes y formatos basados en XML (Extensible Markup Language), y esquemas XSD (XML Schema Definition). Ejemplos de estos enfoques son expuestos en Hernández (2003), Najjar *et al.* (2003), Alvarez *et al.* (2006), Vélez *et al.* (2008), Gonzalez *et al.* (2009b) y Lluvia Morales *et al.* (2010), usando especificaciones como: LOM («LOM», 2002), las guías de lineamientos y recomendaciones de la AICC (AICC, 2014), SCORM (SCORM, 2012), especificaciones IMS (IMS, 2014), IMS Learning Design - IMS LD («IMS LD», 2014), IMS question and test interoperability - IMS QTI («IMS QTI», 2014), IMS reusable definition of competency - IMS RDCEO («IMS GLC-RDCEO», 2010) e IMS-Content Packaging («IMS CP», 2014), entre otras.

Las propuestas para avanzar en el intercambio semántico de contenidos ha trascendido a las especificaciones, dado que las necesidades de los LMS van más allá de intercambiar contenidos, hacia la posibilidad de gestionarlos automáticamente con la mayor precisión y calidad como sea posible. Los esfuerzos están concentrados en mecanismos semánticos insertos en los LMS y mecanismos externos. Entre los mecanismos internos en los LMS, la comunidad científica ha propuesto la integración de repositorios semánticos en las plataformas. Estos son utilizados por los ITS para la personalización y reúso de los contenidos y administración de la ruta de enseñanza como en el caso de Raju y Ahmed (2012), Torres *et al.* (2013) y Ochoa *et al.* (2014). Sin embargo la mayoría de los repositorios de los LMS comunes están por fuera de estos marcos de trabajo y su ajuste involucró un complejo proceso de rediseño, costes y conocimiento de expertos. Por otro lado de manera generalizada y como mecanismo de interoperabilidad semántica (IS) externo de LMS, se han propuesto marcos de trabajo para compartir información de: i) Bases de datos relacionales - *Relational database (RDB)*,

se busca la integración de los datos a través de los enfoques de la Web Semántica (Berners-Lee *et al.*, 2001) para acceder de forma precisa a los recursos requeridos en las RDB. Para lograrlo la W3C se ha reconocido la necesidad de realizar transformaciones de representación de RDB a OWL (Vavliakis *et al.*, 2013). Este es el caso de Cuéllar *et al.* (2011a), Sequeda *et al.* Choi and Kim (2012), y de ii) Repositorios de Objetos de Aprendizaje (ROA). En el segundo caso de IS de ROA, se han formulado diversos trabajos que suponen repositorios semánticos con representaciones formales OWL y a partir de ello plantean mecanismos externos con algoritmos de correspondencia y equivalencia entre conceptos para soportar búsquedas, recuperación y clasificación de los materiales como en el caso de Farhat *et al.* (2015), Archint and Arch-int (2013), Lee *et al.* (2007) y Lee *et al.* (2011). Sin embargo, los planteamientos de interoperabilidad en todos los casos no consideran las necesidades de interoperabilidad en relación a los ROA comunes y los diversos formatos de los materiales.

Otros aportes son los multinivel. En primer lugar se encuentran las arquitecturas orientadas a servicios (SOA) para plataformas LMS. Estos se fundamentan en las especificaciones de los Framework: IAF - IMS Framework Abstracto IMS (IMS, 2014) y OKI - The Open Knowledge Initiative-OKI (OKI, 2012). Estas arquitecturas plantean una distribución de componentes en capas interconectadas a través de servicios WEB. Esta estrategia es planteada para permitir la interoperabilidad entre herramientas pudiendo acceder, adaptar y reutilizar los servicios soportándose en la Web Semántica para alcanzar niveles de interoperabilidad. En segundo lugar se encuentran las especificaciones CMI (Computer Management Instrucción) de AICC - Aviation Industry CBT Comité (AICC, 2014). Esta entrega recomendaciones y lineamientos semánticos de los materiales de aprendizaje para entornos basados en archivos y apoyados en la WEB. Sin embargo, ambas aproximaciones fueron creadas después de las implementaciones de los actuales LMS y su puesta en marcha en las actuales plataformas requiere de su consolidación y del conocimiento de un experto. Este es el caso de Fontenla *et al.* (2010) y Hardy *et al.* (2011); CAMPUS PROJECT, 2013.

Enfoque del trabajo

La propuesta tomó como base las necesidades y capacidades de interoperabilidad de las plataformas LMS y planteó un modelo de interoperabilidad semántica (MIS) basado en niveles a través de componentes como mecanismo externo. De tal forma que cualquier LMS se pueda ajustar sin modificaciones significativas del mismo.

La propuesta tomó en cuenta los trabajos relacionados con la interoperabilidad en base a las especificaciones (nivel sintáctico) (Arch-int and Arch-int, 2013; Lee *et al.*, 2011), los mecanismos de transformación de RDB a OWL (Choi and Kim, 2012; Sequeda *et al.*, 2011) y a partir de ellas se plantearon componentes adicionales para la armonización del conocimiento a partir de su transformación, formalización y correspondencia semántica. La estrategia se soportó en ontologías de dominio y alto nivel en total acuerdo con los lineamientos de la Web Semántica. Con respecto a los trabajos relacionados con el nivel semántico donde se ubicó la presente propuesta, se recogieron los enfoques generales de integración de contenidos descritos y almacenados en modelos relacionales y los enfoques de trabajo de interoperabilidad de OA en un solo modelo aplicable a la mayoría de los LMS caracterizados.

Materiales y métodos

Se presentan las etapas metodológicas: i) Caracterizar los niveles de interoperabilidad de los LMS a partir de su documentación técnica, ii) Caracterizar las necesidades de interoperabilidad de los LMS en base a trabajos científicos relacionados según temas centrales identificados, y iii) A partir de ello proponer el modelo de interoperabilidad para dar respuesta a las necesidades y falencias identificadas. Esta metodología por etapas se expone en la Figura 1.

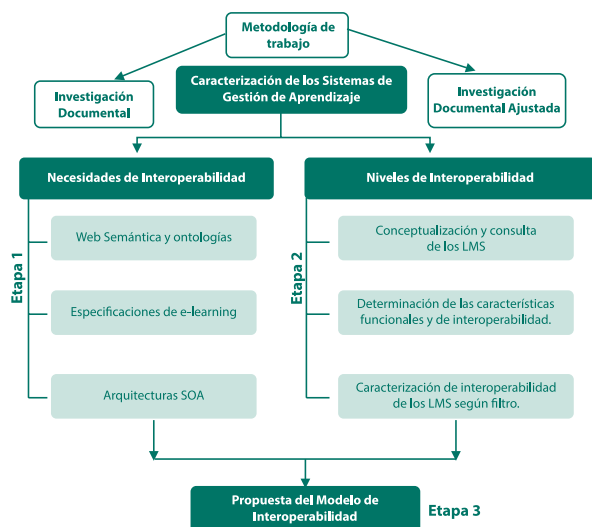


Figura 1. Diagrama Metodológico de la Investigación
Fuente: Los autores

Para abordar la etapa uno (1) y dos (2), dada la amplia diversidad de documentación relacionada en el presente trabajo se usó la metodología de investigación documental (MID) (Serrano, 2002). A través de la MID se determinaron las necesidad y los niveles de interoperabilidad de los

Sistemas de Gestión de Aprendizaje. Se ejecutó en cinco fases de investigación: (i) Preparación, (ii) Descripción, (iii) Interpretación por Núcleos Temáticos, (iv) Construcción Teórica Global y (v) Extensión y Publicación.

Etapas 1. Necesidades de Interoperabilidad de los LMS

Las etapas de preparación y descripción de la investigación se enfocaron en las investigaciones relacionadas en temas centrales sobre Interoperabilidad basada en las especificaciones de e-learning, Arquitecturas orientadas a servicios, así como ontologías y Web Semántica. De la aplicación de la MID en sus fases de Interpretación y construcción teórica global, se obtuvo las necesidades de interoperabilidad descritas en la Tabla 1.

Etapas 2. Niveles de interoperabilidad de las actuales plataformas

Para caracterizar los niveles de interoperabilidad de los LMS se aplicó la MID ajustada de 5 fases. En la fase de preparación se realizaron las actividades de: i) Consulta de los LMS, ii) Filtro de los LMS. En la fase de descripción se realizó las actividades de determinar en los LMS: iii) las características funcionales, iv) las características de interoperabilidad técnica, sintáctica y semántica. En la fase de interpretación y construcción teórica global se realizó la v) Caracterización de los LMS por su modelo de datos, vi) Análisis de Accesibilidad de datos de los LMS según sus repositorios y vii) Análisis de comparación y contraste entre LMS de acuerdo a sus características técnicas y de interoperabilidad. En el estudio detallado de la fase de preparación se analizaron varios tipos de LMS entre: (i) LMS Comerciales para Educación, (ii) LMS de código abierto para educación y (iii) LMS para corporaciones. De este grupo de más de 500 LMS se seleccionaron los nueve LMS por su patrón de uso de acuerdo a las investigaciones de (Alvarez and Gutierrez, 2009; Thibault, 2011; Sanchis, 2013) con el criterio de que fueran de código abierto y la información fuera accesible.

En la fase de descripción se identificaron los núcleos temáticos y analizaron las características de los LMS relacionadas con interoperabilidad de acuerdo a las necesidades y modelos identificados como: i) Soporte técnico de gestión de repositorios, ii) la posibilidad de migración de formatos, iii) la característica de neutralidad de contenidos, iv) interfaces abiertas de interoperabilidad con otros

LMS, v) la capacidad de gestión de los repositorios LMS, vi) la compatibilidad de los repositorios con estándares de e-learning, vii) la representación de los contenidos en repositorios de objetos de aprendizaje (ROA), viii) modelo de datos y ix) funcionalidades semánticas. De este análisis se detectaron las funcionalidades de las plataformas, así como necesidades de interoperabilidad semántica como desafío.

Entre los LMS dominantes seleccionados se encuentran: (i) Moodle («Moodle - Open-source learning platform | Moodle.org», 2015), (ii) dotLRN («LRN Home», 2015), (iii) Sakai («Home | Sakai», 2014), (iv) Blackboard («Blackboard», 2015), v) Person Learning Studio («Pearson LearningStudio», 2015), vi) Atutor («Tutor LMS», 2014), vii) Bodington («Bodington», 2013), viii) Claroline («Consortium Claroline», 2015) y ix) Drupal («Drupal», 2015). En el estudio se encontró que los LMS de código abierto son sistemas altamente dominantes en la comunidad educativa. De la evaluación de las características funcionales

de interoperabilidad de estas plataformas LMS según Tabla 2, se emitió el concepto generalizado del cumplimiento de estas características bajo el concepto de Funcionalidad solucionada (FS) y funcionalidad por solucionar (FPS). En la evaluación se consideró que los LMS cumplieran con esta funcionalidad, cuando por lo menos el 80% de la muestra de los LMS satisfacía la característica evaluada. Del análisis realizado a la muestra de los LMS se pudo concluir de manera general que los LMS: i) Poseen soporte técnico de protocolos en sus repositorios para el intercambio de información basados en FTP, SMTP, HTTP, etc. ii) No soportan migración de formatos entre plataformas por lo cual tampoco la neutralidad de contenidos. iii) Todos los LMS soportan OA según las especificaciones de e-learning. iv) Los contenidos son representados y documentados en XML. v) Los modelos de representación de la información de los LMS en su mayoría son de tipo relacional. vi) La mayoría de LMS alcanzan niveles de interoperabilidad técnica y/o sintáctica, pero ninguno de ellos evidencia aspectos de interoperabilidad semántica.

Tabla 1. Necesidades de interoperabilidad de los LMS.

Temas centrales	Unidades de Análisis	Necesidades de interoperabilidad
Especificaciones de e-learning	(Hernández, 2003), (Alvarez, Espinoza, and Bucarey, 2006; J, R, A, and J.L, 2008; Gonzalez <i>et al</i> , 2009a; Morales and García-Gorrosieta, 2010; Najjar <i>et al.</i> , 2003, (Velez <i>et al.</i> , 2008),	En contenido de Aprendizaje: 1. Recuperación de objetos de Aprendizaje. 2. Reusabilidad transparente de objetos de aprendizaje entre LMS. 3. Durabilidad de los contenidos. 4. Búsquedas y recuperación efectivas de contenidos de aprendizaje. 5. Independencia de contenidos del hardware y software. 6. Portabilidad de los contenidos entre plataformas. 7. Mecanismos para compartir información de manera efectiva entre LMS.
Arquitectura orientadas a Servicios	(Martínez and Farinango, 2011 y CAMPUS PROJECT, 2013)	En Servicios y herramientas 8. Servicios intermedios de interoperabilidad semántica. 9. Mecanismos para la interoperabilidad de herramientas entre LMS.
Ontologías, Web Semántica	(González <i>et al.</i> , 2010; Cuéllar <i>et al.</i> , 2011b; Ming <i>et al.</i> , 2011; Raju and Ahmed, 2012; Torres <i>et al.</i> , 2013; Ochoa <i>et al.</i> , 2014).	De representación, transformación y correspondencia de la información 10. Traducción de las bases de datos RDB a ontologías de aplicación. 11. Integración bases de datos relacionales de LMS. 12. Mecanismos de correspondencia entre las clases de ontología, apoyados en ontologías de dominio. 13. Inclusión de marcos de referencia de intercambio de conocimientos entre LMS de forma totalmente automática. 14. Clasificación semántica de OA desde una base de conocimiento local o remoto en base a dominios específicos. 15. Propuestas de arquitecturas externas para mejorar la calidad y el acceso de los OA en la formación. 16. Propuestas de Sistemas Globales de aprendizaje, orientadas a servicios, flexible a la inclusión de nuevas herramientas, reprogramación o la adaptación de las partes del sistema interoperable para contenidos y herramientas de terceros.

Fuente: Los autores

Tabla 2. Características de los LMS.

FUNCIONALIDADES DE INTEROPERABILIDAD DE LMS	Moodle	DoLRN	Sakai	Angel/bb	Desire2learn	Person Learning Studio	Atutor	Bodington.	Claroline	Drupal	CONCEPTO GENERALIZADO	
											FS	FPS
SOPORTE TÉCNICO	FTP, SMTP, HTTP,	FTP, SMTP, HTTP	FTP, SMTP, HTTP	FTP, SMTP, HTTP	FTP, SMTP, HTTP	FTP, SMTP, HTTP	SMTP, HTTP,	FTP, SMTP, HTTP	FTP CLI-ENTE, SMTP, HTTP, SOAP	FTP, SMTP, HTTP	X	
MIGRACIÓN DE FORMATOS	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO		X
NEUTRALIDAD DE LOS CONTENIDOS	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		X
INTERFACES ABIERTAS CON LMS U OTROS SISTEMAS ERP	NO	NO	NO	NO	NO	NO	OAUTH API	NO	NO	NO		X
REPOSITORIO GESTIONABLE (I)	SI	SI	SI	INDEFINIDO	INDEFINIDO	INDEFINIDO	SI	NO	SI	SI	X	
COMPATIBILIDAD DEL REPOSITORIO CON ESTÁNDARES	IMS-LD, IMS CP,IMS ENTERPRISE,IMS MD,IMS QTI Y SCORM	AICC,IMS CONTENT PACKAGING,IMS QTI, IMS ENTERPRISE Y SCORM	IMS CONTENT PACKAGING,IMS QTI Y SCORM	SCORM 1.2 SCORM 1.3	IMS-LD, IMS CP,IMS ENTERPRISE,IMS MD,IMS QTI Y SCORM	AICC,IMS CONTENT PACKAGING,IMS QTI,IMS ENTERPRISE Y SCORM	IMS-LD, IMS CP,IMS ENTERPRISE,IMS MD,IMS QTI Y SCORM	NINGUNO	IMS CONTENT PACKAGING,IMS QTI Y SCORM	SCORM, IMS Y MARC	X	
CONTENIDO REPRESENTADO EN XML (I) Y ALMACENADO EN XML (II)	XML	XML	XML Y RDF	XML	XML	XML	XML	NINGUNO	XML	XML/RDF	X	
TIPO DE MODELO DE DATOS	RELACIONAL	ORIENTADO A OBJETOS	RELACIONAL	INDETERMINADO	RELACIONAL	INDETERMINADO	RELACIONAL	INDETERMINADA	INDETERMINADO	RELACIONAL	X	
FUNCIONALIDADES SEMÁNTICAS	NINGUNA	NINGUNA	WEB SEMÁNTICA	NINGUNA	NINGUNA	NINGUNA	NINGUNA	NINGUNA	NINGUNA	NINGUNA		X

Fuente: Los autores

Resultados

• Propuesta de solución- Modelo de Interoperabilidad Semántica –MIS

A partir de la caracterización que identificó las necesidades y niveles actuales de interoperabilidad, se plantó el MIS. La propuesta del MIS se basó en arquitectura de capas de datos, presentación y negocios (Moquillaza *et al.*, 2014) como se expone en la Figura 2. En la capa de datos se encuentran los contenidos representados en RDB y ROA correspondientes al nivel 0. Los niveles 1, 2 y 3 se proveen por el MIS en su capa de lógica de negocio. La capa

de interfaz provee los métodos y funciones de acceso a los niveles inferiores.

Específicamente los componentes en las capas del modelo en su lógica de negocio consisten en: i) Componente técnico de gestión de la información (CTGI). ii) Componente técnico de conversión de formatos (CTCF). iii) componente de formalización conceptual para sistemas con bases de datos relacionales (CFCRDBS). iv) Componente de formalización conceptual para ROA (CFCROA). v) Mapeador Ontológico (MO), vi) Interfaz de gestión (IG). vii) Modelos de información (MI).

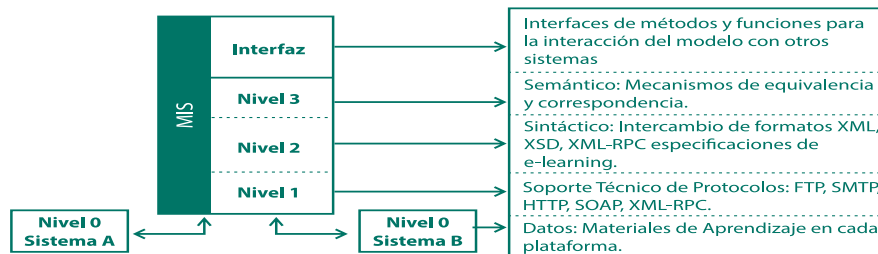


Figura 2. Plantilla MIS.

Fuente: Los autores

Estos componentes satisfacen las necesidades de interoperabilidad caracterizadas en la etapa 1 y que no fueron tampoco evidenciadas dentro del conjunto de funcionalidades de los niveles actuales de interoperabilidad de los LMS. La relación de las necesidades de interoperabilidad identificadas en los LMS en relación a los componentes del modelo expuesto en la Figura 3, se corresponden en la Tabla 3. A continuación se describen en detalle las capas y componentes del modelo.

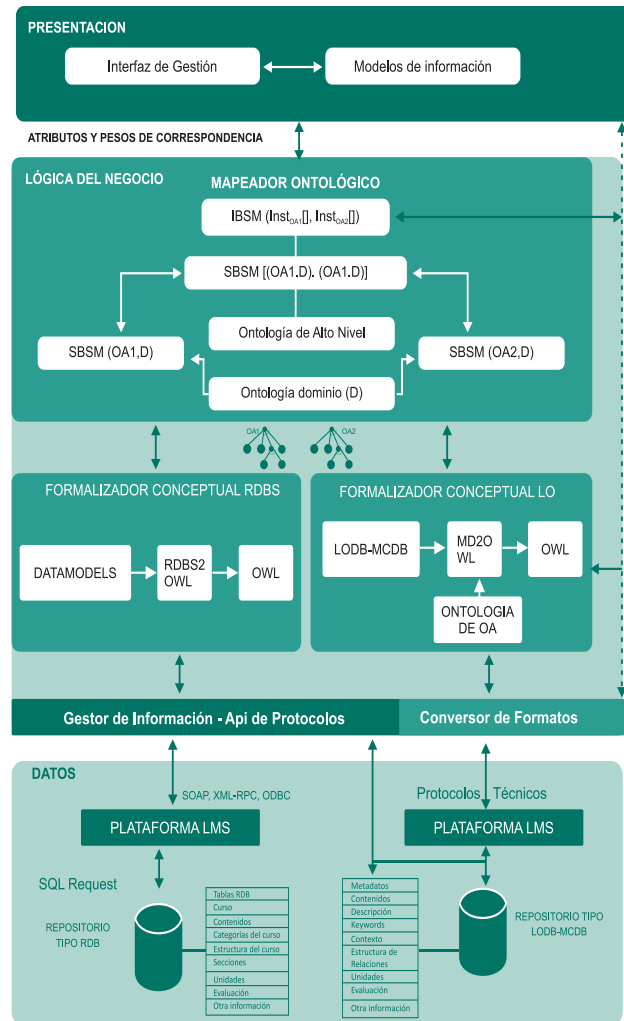


Figura 3. Modelo General de Interoperabilidad Semántica
Fuente: Los autores

Capa de Datos

En esta capa se ubican los contenidos y datos especificados de e-learning. Los datos están representados en diferentes esquemas dentro de las plataformas instanciados bajo dominios específicos.

Tabla 3. Necesidades de interoperabilidad vs componentes del Modelo MIS.

Necesidades	Componente
1	CTGI
2,5,6	GTGI – CTCF
3	CTCF
4,7,8	MIS
10,11	CFCRDBS
12,13	MO
15	MIS
9,14,16	NO SE CUMPLE

Fuente: Los autores

Los datos a considerar son los modelos de representación de la información de materiales de aprendizaje y su contexto. En esta información se tuvieron en cuenta las competencias de aprendizaje, de los espacios virtuales, objetivos de aprendizaje, herramientas del docente, evaluaciones, etc. Según la caracterización, se encontró que esta información se encuentra como: i) Bases de Datos Relacionales-Relational database (RDB). ii) Bases de Datos de Objetos de Aprendizaje - Learning Object Database (LODB). En el caso de los RDB, en los LMS de código abierto cuentan en general con los modelos de datos relacionales. Estos son bien documentados y en cierto grado equivalentes entre todos los LMS. Tales modelos son ricos en información contextual del aprendizaje. Esta puede ser extraída para procesos posteriores a través de protocolos de consulta e interconexión como Open Data Base Connectivity (ODBC), Structured Query Language (SQL), etc., y mecanismos de transformación de enfoques semánticos (Do, 2006; Euzenat y Shvaiko, 2013). Un ejemplo de los esquemas de información contenida en los modelos de datos relaciones RDB de Moodle y de los OA de SCORM se presenta en la Tabla 4. En cada uno de estos esquemas, a pesar de que los datos son representados en formatos diferentes a través de RDB y en base a las especificaciones de e-learning SCORM, se almacena información equivalente en relación a la intención formativa. Sin embargo, las plataformas no tienen métodos para corresponder las necesidades de aprendizaje con contenidos disponibles. Esto debido a la diferencia de representación y ausencias de mecanismos de unificación. Para lograrlo se propone la lógica de Negocio en el MIS, con sus componentes descritos en detalle a continuación.

Capa de Lógica de Negocio

La capa de lógica de negocio está concebida como una estrategia semántica de e-learning debido a que esta se

apoya en ontologías de dominio como modelo de referencia comunes para la correspondencia de información. A continuación se detalla cada uno de los componentes del mecanismo.

Tabla 4. Esquemas de datos de Moodle y OA SCORM.

Course Resources RDB	Learning Objects Resource-SCORM
id	Identifier
name	Title
Description	Catalog
Module	Entry
Instance	Lenguaje
Section	Description
Path	Keywords
Time_modified	Location
file_type	Format

Fuente: Los autores

• Gestión y conversión de la información

Este componente provee: los métodos de gestión y conversión de la información como se muestra en la Figura 5. Actúa sobre los repositorios de información, gestionándolos a través de una interfaz de programación de aplicación (API) de protocolos técnicos entre los cuales estan SOAP, FTP, HTTP, ODBC, etc., entre otros. Entrega los metadatos y modelo de datos a los niveles superiores. Para lograrlo soporta capturas de: i) Modelo de datos relacionales de las plataformas. ii) Los manifiestos de los OA. De otro lado, por las necesidades de interoperabilidad 1,2,4,5 y 7 de la etapa 1, como enfoque de solución es planteado un componente de transformación para la operación transparente con diferentes especificaciones y formatos según la compatibilidad de la plataforma («ASSEC», 2008).

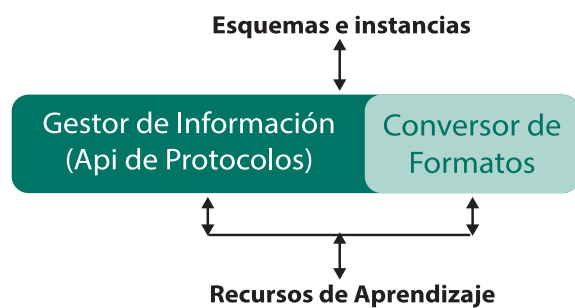


Figura 5. Gestión de la información y conversión de formatos

Fuente: Los autores

• Formalizador conceptual

Este es un componente base del modelo. Su función es extraer la información de la capa de datos y convertirla a ontologías de aplicación para representar RDB y ROA a través de transformadores automáticos. Para lograrlo se usan dos enfoques a mencionar: i) Direct mapping para RDB, donde el esquema SQL/METADATOS de la base de datos es transformado mediante reglas con componente semántico a una Ontología y los datos relacionales son expuestos como instancias de la Ontología generada. ii) El otro método aplicado a la formalización de ROA supone la existencia de una ontología de dominio que envuelve la base de datos de tal manera que su contenido aparece como instancias de la Ontología. A continuación se detallan los dos (2) mecanismos de formalización.

• Formalizador conceptual RDBS

En el caso de los RDB actualmente los enfoques de trabajo sobre transformación se tipifican como: (i) Transformación directa de esquemas relacionales a ontologías (Direct mapping). (ii) Transformación de esquemas entidad-relación (ER) a ontologías y (iii) Transformación de esquemas relacionales en combinación con semánticas de dominio adicionales (Sequeda *et al.*, 2011; Myroshnichenko y Murphy, 2009; Levshin, 2009). El enfoque de este componente sobre el modelo MIS, fue trabajado en la pirámide de investigación en ingeniería y como parte del trabajo (Bravo y Suarez, 2013). Esta transformación directa tiene en cuenta los artefactos de representación habitual RDBS. Tales como tablas, llaves primarias, llaves foráneas, atributos nulos y no nulos, tipos de datos, etc. Adicionalmente se tiene en cuenta otros artefactos no considerados en las investigaciones consultadas como las relaciones y tipos de herencia. Una vez se realizaron las transformaciones del modelo de datos a la ontología resultante, se enriqueció semánticamente por la transformación de las nuevas reglas. Para estructurar este componente se caracterizaron los esquemas de transformación bajo los siguientes criterios: i) Las ontologías resultantes cumplen con el estándar de la W3C. ii) Uso del enfoque Direct Mapping. iii) Presentación de reglas de transformación usadas. Sobre los trabajos de investigación se estudiaron el conjunto de reglas base y se crearon las faltantes. El estudio consideró 25 reglas base, redefinió una regla ambigua y formuló 4 nuevas reglas de herencia. El diagrama de paquetes del servicio se muestra en la Figura 6.

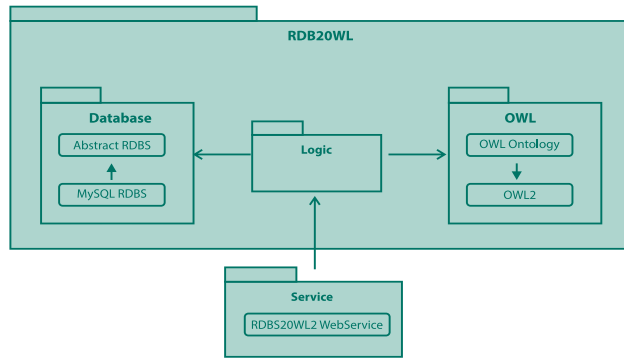


Figura 6. Diagrama de paquetes del servicio.

Fuente: Los autores

• Formalizador conceptual de Objetos de Aprendizaje

Los objetos de aprendizaje se soportan en las especificaciones de e-learning que describe su contenido a través de metadatos en XML. Este lenguaje carece de

expresividad semántica por lo que un mismo OA se puede describir sintácticamente a través de varios esquemas e instancias. Esta falta de descripción semántica de los metadatos de los OA, hace que se presenten limitaciones a la hora de pretender reusar OA, por tanto es necesario llevarlos y transformarlos del nivel, de metadatos estándar a metadatos semánticos a través de estrategias que evalúen su contexto en dominios específicos (Al-Khalifa y Davis, 2006). Estas transformaciones han sido abordadas por la comunidad científica y se han propuesto iniciativas de solución basadas en ontologías existentes para transformar los metadatos de los OA provistos por las especificaciones en información con representación semántica de los OA (Esteban-Gil *et al.*, 2009; Malik, 2009; Santos *et al.*, 2007). Como resultado de ello, las asociaciones de e-learning han propuesto iniciativas de representación de sus OA a través de esquemas ontológicos que representan los recursos de aprendizaje. Como ejemplo una ontología de representación de LOM («LOM», 2002) se muestra en la Figura 7.

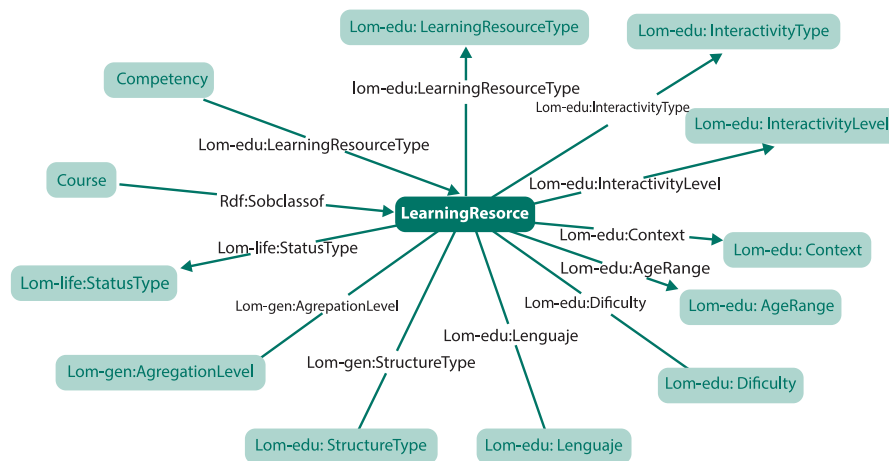


Figura 7. Vista parcial de la ontología Cursos y recursos educativos.

Fuente: (Santos *et al.*, 2007).

En el modelo propuesto, para continuar con el procesamiento computacional, se realizó el mapeo de los esquemas XML a la ontología de los objetos de aprendizaje a través de dos procesos: *El primer* proceso mapea de notación de XML a OWL, se aseguró: i) Mapeo de clases: Es decir, se mapea un nodo XML a un concepto OWL y propiedades datatype (mapeo de un nodo XML a una propiedad datatype OWL). ii) Mapeo de propiedades de objeto. Este relaciona dos clases mapeadas. Esta notación se define en la Tabla 5.

El segundo: la transformación de instancias OWL. proceso aseguró que los identificadores de las clases

Tabla 5:Notación de mapeo XML-OWL

Mapeo	Notación WL
Class	(OWL Class URI, Xpath expression) (OWL Class URI, Xpath expression, ID XPath expression)
Propiedades Datatype	(OWL Datatype Property URI, Domain Class Mapping, XPath Expression)
Propiedades de objetos	(OWL Object Property URI, Domain Class Mapping, Range Class Mapping)

Fuente: (Rodrigues, Rosa, y Cardoso, 2006)

sean únicos. La herramienta disponible se presenta en («XML2OWL Project»).

Mapeador ontológico

El mecanismo de integración de los LMS buscó la integración de las fuentes de datos de contenidos de aprendizaje de los LMS. Esta integración ya ha sido trabajada ampliamente en otros dominios de las ciencias computacionales y descrita a través de estrategias denominadas en la literatura científica como *schema matching* (Do y Rahm, 2002), *ontology matching* (Euzenat *et al.*, 2007), *ontology alignment* (Euzenat *et al.*, 2004), *semantic correspondence* (Do, 2006), etc. Para referirnos a esta integración técnicamente en e-learning se denominará como *Schema Matching* (SM). Se analizaron los beneficios de aplicar SM en e-learning y se justificó la estrategia de SM seleccionada. La aplicación de SM tiene varios enfoques de aplicación dependiendo de aspectos relacionados con: i) Información de entrada. ii) El proceso de correspondencia, y iii) La información deseada de salida. En la Tabla 6 se presentan las características de las etapas del proceso de correspondencia que son posibles y aplicables para lograr interoperabilidad en e-learning.

Tabla 6. Características operativas de SM.

ASPECTOS DE SM	
INFORMACION DE ENTRADA PARA SM	
INFORMACION	TIPO DE INFORMACIÓN
MODELO DE DATOS	Relacionales
	XML
	RDF
	OWL
DATOS DE LOS MODELOS	Esquemas(Etiquetas, estructura interna, tipos de atributos, relaciones)
	Instancias
	Esquemas e instancias
PROCESO DE CORRESPONDENCIA	
TIPO DE PROCESAMIENTO	Intrínseco
	Semántico
	Externo
RESULTADOS	
JUICIO DE CORRESPONDENCIA	Gradual
	Conjuntal:
	Equivalencia (=),
	Incompatibilidad ($\perp$),
	Subsunción ($\sqsubseteq$)
	A nivel de instancias
	A nivel de esquema

Fuente: los autores

Específicamente, en e-learning se determinó la correspondencia entre dos esquemas que representan el contenido de recursos educativos de una RBD y un objeto de aprendizaje, como los que se muestra en la Figura 8.

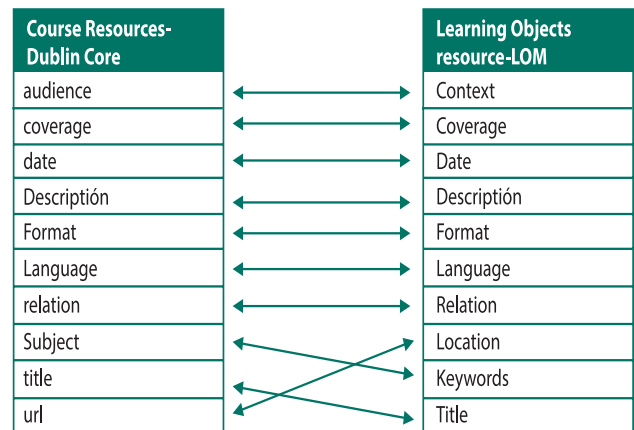


Figura 8. Ejemplo de esquema de correspondencia RDB-OA
Fuente: los autores

Para establecer la estrategia de correspondencia, se analizaron los aportes de los enfoques de SM propuestos por (Shvaiko y Euzenat, 2005; Do, 2006; Sun y Rose, 2003; Euzenat y Shvaiko, 2013). Según estas investigaciones, para realizar el proceso de SM existen diversos enfoques expuestos en la Figura 9 según las características de la información de entrada (nivel inferior), proceso (nivel intermedio) y salida (nivel superior).

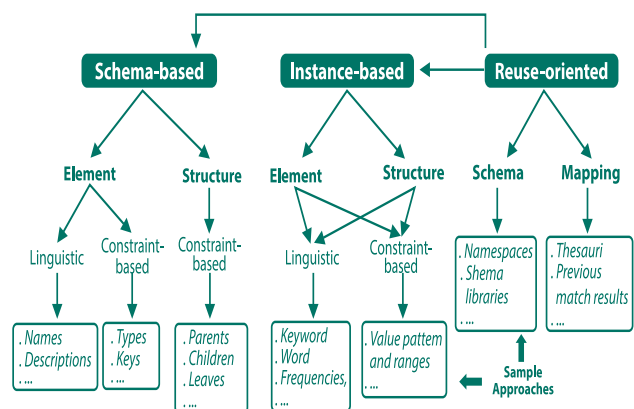


Figura 9. Enfoques de Scheme Matching
Fuente: (Do, 2006).

Como consecuencia de lo anterior, la aplicación de las estrategias comenzó con la lectura de los esquemas base e instancias de la información a corresponder. Según la caracterización descrita en e-learning, estos esquemas de información son los modelos de representación RDB o XML que han sido transformados a OWL. Estos esquemas OWL de entrada en el modelo son denotadas como $OWL_{A'}$.

OWL_B y en conjunto con la estrategia E, definieron la configuración de correspondencia adecuada, que deberá ejecutar dos subprocesos de SM a mencionar: i) Establecer correspondencias entre estructuras garantizando la consideración semántica implícita en las plataformas y recursos, eso permitiría establecer el vocabulario común y compartido entre los dos modelos por una ontología de dominio específica; y ii) Establecer correspondencia de sus elementos en base a las instancias de las estructuras correspondidas. Esta estrategia de correspondencia en el MIS se presenta en la Figura 10. Cabe anotar que la estrategia se formuló como un sistema flexible a diversas alternativas de correspondencia.

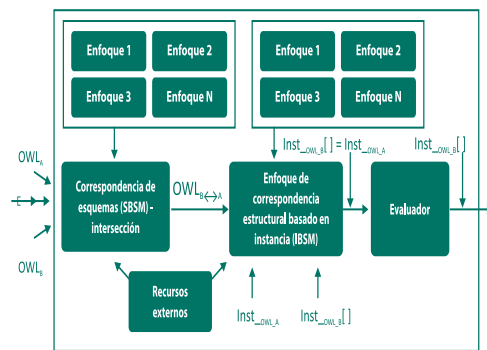


Figura 10. Estrategia de correspondencia - Mapeador Ontológico
Fuente: Los autores

Alternativas de enfoque de correspondencia basado en esquemas

La selección de enfoques de correspondencia basada en esquemas garantizará después de este proceso, que la estructura de información objetivo corresponde al esquema

fuente. El enfoque de *SM basado en esquemas* tiene como insumo los esquemas nativos transformados en OWL y su objetivo es corresponder estructuras parciales o totales entre esquema de información de e-learning. Ejemplos de vistas parciales de correspondencia de esquemas en e-learning se muestran entre OA Dublin Core y OA LOM en la Figura 11.

Course Resources- Dublin Core		Learning Objects resource-LOM
audience	↔	Context
coverage	↔	Coverage
date	↔	Date
Descripción	↔	Description
Format	↔	Format
Language	↔	Language
relation	↔	Relation
Subject	↔	Location
title	↔	Keywords
url	↔	Title

Figura 11. Ejemplo de esquema de correspondencia OA Dublin Core- OA LOM
Fuente: Los autores

En la Tabla 7 se relacionan los enfoques para establecer la correspondencia a nivel de estructuras en e-learning según el tipo de información, datos, enfoque de procesamiento, proceso y algunos referentes teóricos y algorítmicos que se pueden integrar al modelo de interoperabilidad MIS. Esta propuesta recomienda que se usen varios enfoques de forma que complementen los resultados, dando prioridad a la correspondencia de enfoque de procesamiento semántico basado en ontologías de dominio.

Tabla 7. Enfoques de solución correspondencia a nivel de estructura.

Enfoque de algoritmos de SM para correspondencia a Nivel de Estructura y elementos				
Tipo de información.	Tipo de dato	Enfoque de Procesamiento	SM basados en :	Algoritmos y/o referente teórico
Terminológica	Cadenas	Lingüístico - Sintáctico	Basado en cadenas	(Madhavan, Bernstein, Doan, y Halevy, 2005),(Madhavan, Bernstein, y Rahm, 2001),(Bilke y Naumann, 2005)
Terminológica	Objetos lingüísticos: Interpretación de cadenas	Lingüístico -Semántico.	Basado en lenguajes	(Giunchiglia, Yatskevich, y Giunchiglia, 2005), (Clifton, Housman, y Rosenthal, 1998)
Terminológica	Objetos lingüísticos: Interpretación de cadenas	External-lingüístico - Semántico	Recursos Lingüísticos	(«SMATCH», s. f.), (Giunchiglia, Yatskevich, y Shvaiko, 2007), (Agrawal y Agrawal, 2014)

Continúa en la página siguiente

Viene de la página anterior

Enfoque de algoritmos de SM para correspondencia a Nivel de Estructura y elementos				
Estructural	Estructura de entidades, atributos, tipos de datos, etc.	Sintáctico - Sintáctico	Basados en restricciones de esquemas	(Bravo y Suarez, 2013),(Batini, Lenzerini, y Navathe, 1986),(Rodrigues <i>et al.</i> , 2006).
Estructural	Metadatos y relaciones de entidades	Externo - Sintáctico	Reuso de SM	<COMMA>. (Do y Rahm, 2002),(Sun y Rose, 2003)
Semántica	Modelos estructurales	Externo - Semántico	Ontologías de alto nivel y ontologías de dominio	(Rodrigues <i>et al.</i> , 2006)

Fuente: Los autores

Alternativas de enfoque de correspondencia basado en instancias

Una vez se determinen dos estructuras de datos como equivalentes, puede suceder que estas sean o no equivalentes en sus instancias. En la Figura 12 se presenta la correspondencia de dos objetos de aprendizaje bajo la especificación LOM y DublinCore. En la Figura 13, se presenta el caso de correspondencia nula entre dos objetos de aprendizaje DC y LOM.

Los enfoques como solución a la correspondencia de instancias consideran como información de entrada los nombres de columnas, filas, atributos de esquemas de XML y RDBS etc. Los enfoques aplicables de correspondencia de instancias son también los de correspondencia basados en esquema como los lingüísticos-semántico, lingüístico-sintáctico, etc. No obstante, existen enfoques de correspondencia a nivel de instancias. Estos enfoques se basan sobre los resultados de los análisis textuales de las instancias de los elementos en el esquema. A menudo

se aplican métodos estadísticos para hacer la evaluación jerárquica en relación a una ontología o dominio de aplicación. A partir de esta evaluación se obtienen palabras claves, sobre las cuales se aplican medidas de repetición, cercanía, etc. Algunos referentes teóricos y algorítmicos se detallan en la Tabla 8.

Ontologías de Dominio y de alto nivel

Según los enfoques discutidos en las secciones anteriores, los mecanismos de interoperabilidad planteados hacen uso de ontologías de dominio con el propósito de garantizar un vocabulario común y compartido. Hoy en día existen variadas ontologías de dominio en variados contextos de las ciencias de la computación. Una ontología de dominio específica en e-learning, se describe en Santos *et al.* (2007). Otras ontologías de alto nivel también pueden ser utilizadas. Según estudios comparativos entre varias ontologías, se evidencia a DOLCE (Mascardi *et al.*, 2007) como ontología de alto nivel con dominio aplicable a e-learning.

Resorces-Dublin Core	Course Resources-Dublin Core-Instances		LOM	Learning Objects resource-Instances
Audience	Formación profesional administración de sistemas	↔	Context	Formación profesional sistemas
Coverage	Modelado de Software UML	↔	Coverage	Modelado de Software UML, 2014, Colombia
Date	24 October 2013	↔	Date	15 Junio 2014
Descripción	El contenido, es sobre modelo de software usando UML para diseñar diagramas de casos de uso, diagramas de clases, diagrama de procesos, etc.	↔	Description	El contenido, trata sobre como modelar software usando UML para construir diagramas de casos de uso, diagramas de clases, etc.
Format	DC	↔	Format	SCORM2004
Language	Es	↔	Language	Es
Relation	Is Part Of	↔	Relation	Modulo: 2, Seccion2, Actividad 1.
Subject	UML	↔	Location	C://172.168.1.4/Moodle/repositories/OA/uml.zip
Title	UML, MODELADO DE SOFTWARE USANDO UML	↔	Keywords	UML, MODELADO DE SOFTWARE
url	C://172.168.1.20/Moodle/repositories/Material/uml.zip	↔	Title	Modelado en UML

Figura 12. Ejemplo de correspondencia de instancias de OA Dublin core- OA LOM

Fuente: Los autores

Resources- Dublin Core	Course Resources - Dublin Core-Instances	LOM	Learning Objects resource- Instances
Audience	Formación profesional administración de sistemas	Context	Formación Telecomunicaciones
Coverage	Modelado de Software UML	Coverage	Antenas
Date	24 October 2013	Date	15 Junio 2014
Descripción	El contenido, es sobre modelo de software usando UML para diseñar diagramas de casos de uso, diagramas de clases, diagrama de procesos, etc. Además de la teorización sobre el lenguaje UML de modelado	Descripción	El contenido, trata sobre los fundamentos técnicos de las antenas para señales de microondas.
Format	DC	Format	SCORM2004
Language	Es	Language	Es
Relation	Is Part Of	Relation	Modulo: 3, Seccion1, Actividad 1.
Subject	UML	Location	C://172.168.1.4/Moodle/ repositories/OAT/uml.zip
Title	UML, MODELADO DE SOFTWARE USANDO UML	Keywords	Antenas, telecomunicaciones, microondas,
url	C://172.168.1.20/Moodle/ repositories/Material/uml.zip	Title	Antenas para Microondas

Figura 13: Ejemplo de esquema de correspondencia de instancias de OA Dublin core- OA LOM.

Fuente: los autores

Tabla 8. Enfoque a nivel de instancias de esquemas.

Enfoque de algoritmos de SM para correspondencia a nivel de instancias de esquemas				
Tipo de in- formación.	Tipo de dato	Enfoque de Procesamiento	Enfoque algorítmico	Referente teórico y algorítmico
Semántica	Instacias de los elementos	Semántico- Externo	Ontologías, tesauros res- tricciones de esquemas	(Ming Che Lee, Tsai, y Hsieh, 2011b), (Doan, Madhavan, Domingos, y Halevy, 2002)
Semántica	Instancias de estructuras	Semántico- Externo	Ontologías, tesauros, res- tricciones de esquemas	(Qian, Li, Song, y Yue, 2009),(Wang, Wen, Lochovsky, y Ma, 2004)

Fuente: Los autores

Capa de Presentación

En este nivel se encuentran los componentes que soportan la interfaz del modelo:

• Interfaz de Gestión

Ofrece los métodos y funciones para acceder a los componentes del modelo. Puede soportar búsquedas de clientes LMS, que a su vez soportarán a los usuarios. Desde esta interfaz, a través del componente de Gestión de la información se ofrecen los métodos de acceso a las instancias de las bases de datos relacionales y ROA. Para ello previamente debe existir un acuerdo de interoperabilidad que permita la integración al modelo para compartir sus recursos educativos. Los elementos de entrada a la interfaz,

para interactuar con el modelo son esquemas de datos (según modelos de información), con el direccionamiento de búsqueda hacia los esquemas de destino. Los esquemas de datos, deben describir los parámetros conforme a la reglamentación de esquemas de objetos de aprendizaje u ontologías. En los elementos de salida de la interfaz, los usuarios se soportan en los componentes de *presentación insertos en las plataformas*, que toman los modelos de información de los elementos recuperados y los usan como insumo para el despliegue de los contenidos.

• Modelos de información

Proporcionan posibles esquemas de búsqueda para interactuar desde la capa de presentación en la capa de lógica de negocio. Las plantillas permiten

transformar la información de entrada y salida de las funciones del modelo, a datos apropiados para el usuario y el mapeador ontológico. Del usuario se reciben instancias de los elementos y esquemas con los cuales se va a inter-operar para realizar la correspondencia con el mapeador ontológico (Rodrigues *et al.*, 2006). Al usuario se le entregan los modelos de datos con esquemas y atributos, para el acceso de los recursos correspondidos según instancias y mecanismos de despliegue en las plataformas.

Validación-Instancia del MIS

Para validar el modelo propuesto se revisaron las metodologías de evaluación cualitativas entre entrevista dirigida y grupo focal. Por las ventajas de grado de estructura, por la posibilidad de descubrimiento de información innovadora por expertos y por su utilidad general se seleccionó la metodología de grupo focal (Malhotra, 2004). Las etapas desarrolladas en el grupo focal fueron: i) La planeación del protocolo y preparación de los documentos. ii) La selección de los participantes. iii) La conducción de la sesión, y iv) El análisis de la información y reporte (Kontio *et al.*, 2008). En la preparación de sesión se generaron los materiales que fueron entregados previamente a la sesión. El material preparado se conformó por las fichas de los participantes, la propuesta resumida y extendida del MIS, el protocolo y orden del día, el formato de evaluación de los componentes y la encuesta de evaluación del MIS. En la selección de los participantes se tuvo en cuenta dos perfiles: i) Profesionales adscritos a la academia y con conocimientos acerca de e-learning. ii) Profesionales con experiencia en e-learning y en investigación y desarrollo de software. Los participantes seleccionados se muestran en la Tabla 9.

En la fase de conducción de la sesión se realizó la presentación del MIS entre LMS. En esta fase mediante una exposición ejecutiva, se describieron cada una de las capas y componentes del Modelo. Después, cada participante presentó sus aportes detallado con un enfoque crítico constructivo y por último, cada participante diligenció el Formato de evaluación de componentes y la encuesta de aspectos generales. De la evaluación de los componentes se obtuvo la valoración cuantitativa de la valoración cualitativa del MIS mostrada en la Tabla 10. En general se encontró que el MIS cumplía con la mayoría de las funciones para los cual fue diseñado.

Tabla 9. Integrantes del Grupo Focal.

Nombre	Participante	Institución
Mg. en Computación. Jimmy Andrés Campo Bravo	P1	Gerente Oderlógica (Popayán)
Mg. en Computación. Carlos Alberto Ardila Albarracín	P2	Docente investigador universidad del Cauca
Ing. de Sistemas. Diego Fernando Bolaños	P3	Líder de tutores virtuales SENA- Centro Comercio y servicios. Integrador plataforma Blackboard.
Ing en Electrónica y Telecomunicaciones. Omar Albeiro Trejo Narvaez	P4	Tutor Virtual certificado por la OEA, Blackboard.

Fuente: Los autores

Tabla 10. Evaluación Focus Group del MIS.

Nº	ASPECTOS QUE SE SOLUCIONAN CON EL MIS	OPCIONES		
		SI	NO	NS/ NR
1	Solución a problemas semánticos.	100%		
2	Reusabilidad de Objetos de Aprendizaje.	100%		
3	Búsquedas y recuperación efectiva de contenidos	100%		
4	Independencia de contenidos.	50%		50%
5	Heterogeneidad y autonomía de los LMS.	100%		
6	Integración semántica de las bases de datos de los LMS.	75%		25%
7	Integración semántica de los ROA	75%		25%
8	Formalización conceptual de los datos.	75%		25%
9	Mapeo ontológico de conceptos de los recursos de aprendizaje.	100%		
10	Métodos y funciones necesarias del modelo.	75%	25%	
11	Facilidad de implementación.	75%		25%

Fuente: Los autores

Con la evaluación del MIS, por parte de los participantes se generaron: aspectos positivos, negativos y por mejorar y observaciones adicionales que llevaron al refinamiento del MIS presentado en la sección 4.

Diseño e implementación del servicio Web

Teniendo en cuenta el modelo propuesto y la validación por expertos en el grupo focal, se planteó la propuesta de un Servicio Web de Interoperabilidad Semántica – SIS, basado en Ontologías. El servicio se diseñó como una - de muchas instancias del modelo. El Diseño del servicio propuesto, consideró el uso de:

- Bases de datos relacionales.
- Repositorios de Objetos de Aprendizaje.
- Driver de Gestión de bases de datos ODBC.
- Driver de Gestión de Repositorios de Objetos de Aprendizaje.
- Especificaciones de e- learning: SCORM, IEEE LOM y CP.
- Transformadores Automáticos para la generación de Ontologías de aplicación.
- Ontologías de Aplicación y Dominio esenciales en el proceso de formalización.
- Mecanismos de correspondencia entre las distintas representaciones ontológicas.
- Clientes Web insertos en los LMS para gestión del Servicio Web.

Teniendo en cuenta lo anterior se planteó un modelado del Servicio de Interoperabilidad Semántica basado en la arquitectura 4 +1 vistas. En este modelado se describe: i) Los casos de uso del sistema. ii) El diagrama de clases. iii) El diagrama de secuencias. iv) La vista de proceso, y v) El diagrama de despliegue. A continuación se presenta la vista de despliegue de la arquitectura mencionada y la descripción de cada uno de los componentes en la Figura 14.

- LMS, representa un LMS cualquiera, que puede hacer uso del servicio para interoperar con otros LMS.
- SERVER_INTERFACE, representa la interfaz del servicio.

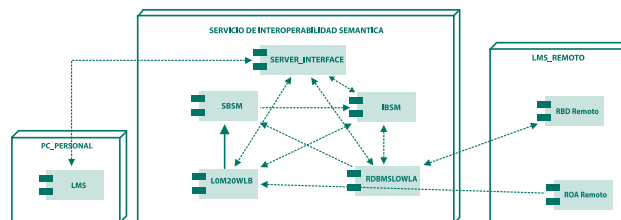


Figura 14. Diagrama de Distribución.

Fuente: Los autores

- LOM2OWLB, su función es recibir los metadatos de OA, para luego transformarlos en un lenguaje de ontología web. Así mismo, cumple la función de gestión de ROA.
- RDBMSLOWLA, se encarga de transformar la información de representaciones de bases de datos relacionales a lenguaje de ontología web. Así mismo, cumple la función de gestión de RDB.
- SBSM, define la estrategia de correspondencia basada en esquemas.
- IBSM, define la correspondencia de las búsquedas basadas en instancias.
- RDB remoto, representa los modelos de bases de datos relacionales con los que interactúa el servicio.
- ROA remoto, representa los repositorios de objetos de aprendizaje remotos.

Implementación Servicio de Interoperabilidad Semántica

En la Figura 15, se muestra un escenario básico de interoperabilidad para la implementación del servicio propuesto, específicamente en lo relacionado con la interoperabilidad de OA; se consideró, la interoperabilidad de dos LMS Moodle-Modle. Cada uno de estos LMS contiene OA dispuestos en un repositorio de archivos soportado con el protocolo FTP. Para la implementación de este escenario se utilizaron los algoritmos provistos por el API de COMMA y soportados en la Ontología de dominio DOLCE2.0-Lite-v3. En la correspondencia de instancias se utilizó WORNET modificado para realizar inferencias en diferentes dominios.

En el prototipo, el usuario una vez logueado en la plataforma LMS, puede hacer uso del Servicio de Interoperabilidad Semántica SIS. Para lo cual direcciona el servicio donde se enviarán los esquemas y las instancias de búsqueda. Posteriormente el usuario carga la interfaz

donde ingresará los parámetros de búsqueda de la información de Objetos de aprendizaje, así mismo la dirección del repositorio FTP donde se almacenan los OA del LMS objetivo como se muestra en la Figura 16.

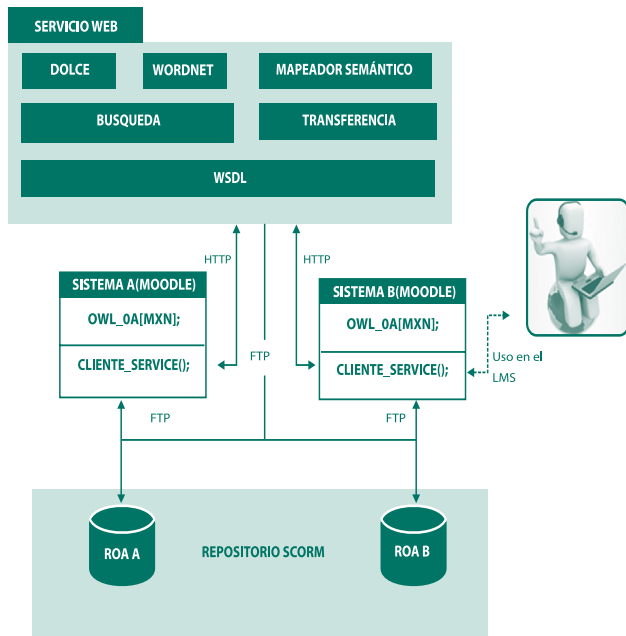


Figura 15. Escenario de interoperabilidad
Fuente: Los autores



Figura 16. Caso de uso realizar búsqueda
Fuente: Los autores

Al efectuar una búsqueda de los recursos en el LMS objetivo, se infieren los datos resultantes y se muestran al usuario los contenidos resultantes. Estos se presentan en orden jerárquico según las distancias semánticas entre los esquemas e instancias fuentes y objetivos. Los objetos de aprendizaje pueden ser visualizados, usando los métodos de las plataformas o recuperados en el equipo local, tal como se muestra en la Figura 17.

Al visualizar lo recuperado, el usuario reusa el OA, disfrutando de la instrucción, recursos y enfoque pedagógico del mismo, tal como se muestra en la Figura 18.



Figura 17. Correspondencia de Búsqueda
Fuente: Los autores

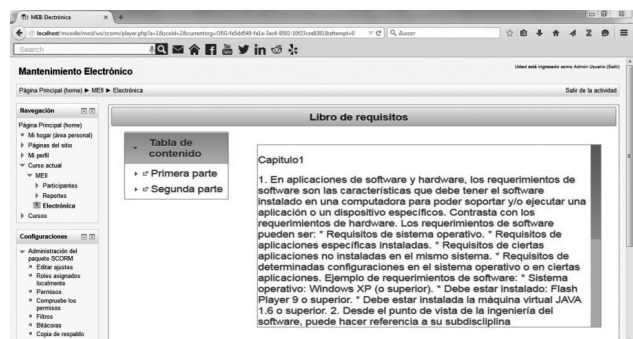


Figura 18. Visualizar Información
Fuente: Los autores

Conclusiones

En relación a las metodologías utilizadas en el trabajo fueron de fácil apropiación y aplicación, exceptuando las MID que por el rigor requerido hace que se dedique demasiado tiempo y sus artefactos resultantes son poco publicables. Por lo cual se recomienda buscar metodologías alternativas para abordar problemas similares.

En cuanto al trabajo en la caracterización, se encontró que en los Sistemas de Gestión de Aprendizaje LMS, los repositorios de contenido ya sean como RDB o ROA son propietarios de la plataforma, lo que causa que actualmente, en la práctica, no se encuentren evidencias resaltables del interoperabilidad semántica de contenidos. Esto es debido a que los mecanismos de interoperabilidad propuestos hacen parte de nuevas líneas de investigación y aún no se han extendido a la implementación masiva y generalizada en los LMS. Por otra parte, se encontró que los LMS en su mayoría cuentan con los mecanismos de interoperabilidad técnica y sintáctica a través de protocolos base y especificaciones. Sin embargo, dado que esto no es suficiente para resolver las necesidades de aprendizaje, coordinadamente las investigaciones avanzan hacia el intercambio de información en niveles superiores usando repositorios semánticos, interoperabilidad semántica entre

RDB, marco de trabajo basados en ontologías, arquitecturas SOA, etc. Todos estos mecanismos pretenden: (i) Mejorar la calidad y variedad de recursos educativos disponibles en el mercado. (ii) Conservar los recursos invertidos en tecnología y desarrollo de recursos educativos a través de su reuso y (iii) Garantizar la transparencia de uso de recursos independiente de las plataformas hardware y software. Sin embargo, en la investigación realizada en este estudio, no se encontró, ni abordó la medición de estos factores entre diferentes LMS pertenecientes a diversas comunidades educativas que permitan calificar el impacto comparativo entre todos los enfoques.

De otra parte en cuanto a la propuesta del modelo entre las ventajas consideradas, se resalta su estructuración por capas y componentes para facilitar la implementación de servicios y mecanismos para el intercambio de contenidos entre LMS. De la misma manera, otra de las ventajas son los componentes de formalización conceptual propuestos para la unificación de los formatos de los materiales con naturaleza semántica de los datos que en conjunto con la estrategia combinada de SM orientada a esquemas e instancias le brinda una vista clara y sencilla de guía de desarrollo de software. Como desventajas del modelo se identificó la dependencia del modelo con contenidos WEB por los niveles de formalización incluidos y tipos de datos considerados. En el mismo sentido, se detectó que gran parte de las funcionalidades de formalización, transformación y correspondencia dependen de las tipologías de las bases de datos de los LMS actuales cuya naturaleza, por ahora, es relacional y limitada para un número de usuarios. En caso de que en el futuro evolucionen a sistemas no relacionales, gran parte de las funciones del MIS podrían quedar obsoletas.

En relación a la evaluación del modelo, se recomienda usar la estrategia de grupo focal en casos similares, no solamente para avalar propuestas, sino para fortalecerlas de manera ágil y efectiva.

Finalmente, como trabajos futuro adicionales, se está trabajando en pruebas y escenarios para la integración de RDB en el MIS y otros enfoques de aplicación e implementación del modelo en diferentes instituciones educativas para mejorar los contenidos y optimizar los recursos económicos.

Referencias

AICC. (2014). *Aviation Industry CBT Committee*. Recuperado de <http://www.aicc.org/joomla/dev/>

Al-Khalifa, H. S., and Davis, H. C. (2006). The evolution of metadata from standards to semantics in e-learning applications. En *Proceedings of the seventeenth conference on Hypertext and hypermedia* (pp. 69–72). ACM. Recuperado a partir de <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1149956>

Álvarez G. Luis A, Espinoza, Daniela, y Bucarey, Sandra. (2006). *Empaquetamiento y Visualización de Objetos de Aprendizaje SCORM en LMSs de Código Abierto*. Taller Internacional de Software Educativo TISE'05 pp 58-63. Recuperado de <http://www.gita.cl/index.php/publicaciones>.

Álvarez G, Paule R y Gutiérrez M. (2009, febrero). *presente y futuro del desarrollo de plataformas web de e-learning en educación superior*. Recuperado de http://www.web.upsa.es/spdece08/contribuciones/118_SPEDECE08Revisado.pdf.

Arch-int, N., and Arch-int, S. (2013). Semantic Ontology Mapping for Interoperability of Learning Resource Systems using a rule-based reasoning approach. *Expert Systems with Applications*, 40(18), 7428-7443. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.027>

ASSEC. (2008). *Conversor de formatos de OA*. Recuperado 9 de noviembre de 2014, a partir de <http://aspect.eun.org/node/121>

ATutor LMS. (2014). *Atutor Website*. Recuperado 24 de marzo de 2015, a partir de <http://www.atutor.ca/>

Barrueco, J. M. and Coll, I. S. (2003). Open archives initiative. Protocol for metadata harvesting (OAI-PMH): descripción, funciones y aplicaciones de un protocolo. *El profesional de la información*, 12(2), 99–106.

Berners-Lee, T., Hendler, J., and Lassila, O. (2001). The semantic web. *Scientific american*, 284(5), 28–37.

Blackboard. (2015). *Blackboard Website*. Recuperado 24 de marzo de 2015, a partir de <http://anz.blackboard.com/sites/international/globalmaster/>

Bodington. (2013). *Bodington Website*. Recuperado 24 de marzo de 2015, a partir de <http://sourceforge.net/projects/bodington/>

- Box, D., Ehnebuske, D., Kakivaya, G., Layman, A., Mendelsohn, N., Nielsen, H. F., Winer, D. (2000). *Simple object access protocol (SOAP) 1.1*. Recuperado a partir de [http://www.researchgate.net/profile/Satish_Thatte/publication/239553871_Simple_Object_Access_Protocol_\(SOAP\)_1.1/links/54489e4e0cf2f14fb8142a59.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Satish_Thatte/publication/239553871_Simple_Object_Access_Protocol_(SOAP)_1.1/links/54489e4e0cf2f14fb8142a59.pdf).
- Bravo, C., and Suarez, C. (2013, julio). *Transformación de Esquemas de Bases de Datos Relacionales al Lenguaje de Ontologías Web*.
- Bueno-de-la-Fuente, G. (2008). *Análisis de la interoperabilidad entre los sistemas de apoyo a la formación de TecMinho* (report). Recuperado de <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/9089>
- CAMPUS PROJECT. (2013). *Proyecto campus*. Recuperado de <http://www.campusproject.org/en/espaitreball.php>
- Charles W. Bailey, J. (2008, septiembre). *DigitalKoans*. Recuperado 7 de agosto de 2014, a partir de <http://digital-scholarship.org/digitalkoans/2008/09/08/interoperability-a-key-concept-for-large-scale-persistent-digital-libraries/>
- Choi, J. W., & Kim, M. H. (2012). Generating OWL Ontology from Relational Database. En *2012 Third FTRA International Conference on Mobile, Ubiquitous, and Intelligent Computing (MUSIC)* (pp. 53-59). <http://doi.org/10.1109/MUSIC.2012.17>
- Consortium Claroline. (2015). Recuperado 24 de marzo de 2015, a partir de <http://www.claroline.net/>
- Cuéllar, M. P., Delgado, M., and Pegalajar, M. C. (2011a). A common framework for information sharing in e-learning management systems. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2260–2270.
- Doan, A., Madhavan, J., Domingos, P., and Halevy, A. (2002). Learning to map between ontologies on the semantic web. En *Proceedings of the 11th international conference on World Wide Web* (pp. 662–673). ACM. Recuperado de <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=511532>
- Do, H.-H. (2006). *Schema matching and mapping-based data integration*.
- Do, H.-H., & Rahm, E. (2002). COMA: a system for flexible combination of schema matching approaches. En *Proceedings of the 28th international conference on Very Large Data Bases* (pp. 610–621). VLDB Endowment. Recuperado de <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1287422>
- Drupal. (2015). Recuperado 24 de marzo de 2015, a partir de <https://www.drupal.org/home>
- Enríquez V. L. (2004). LCMS Y OBJETOS DE APRENDIZAJE. *Revista Digital Universitaria*, Volumen 5 Número 10.
- Esteban-Gil, A., Fernández-Breis, J. T., Castellanos-Nieves, D., Valencia-García, R., and García-Sánchez, F. (2009). Semantic enrichment of SCORM metadata for efficient management of educative contents. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 1(1), 927-932. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2009.01.164>
- Euzenat, J., & Shvaiko, P. (2013). Classifications of ontology matching techniques. En *Ontology Matching* (pp. 73–84). Springer. Recuperado de http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-38721-0_4
- Euzenat, J., Shvaiko, P., & others. (2007). *Ontology matching* (Vol. 18). Springer. Recuperado de <http://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-38721-0.pdf>
- Euzenat, J., Valtchev, P., (2004). Similarity-based ontology alignment in OWL-lite. En *ECAI* (Vol. 16, p. 333). Recuperado de http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=rU_onmzozu0C&oi=fnd&pg=PA333&dq=ontology+alignement&ots=w6jsb-TaW7&sig=VSNhPi8mV40gsyHhyqPyV615wtY
- Facuando A. (2005). *educación a distancia/virtual en colombia*. Recuperado de <http://portales.puj.edu.co/didactica/PDF/Tecnologia/EducacionvirtualenColombia.pdf>
- Farhat, R., Jebali, B., and Jemni, M. (2015). Ontology based semantic metadata extraction system for learning objects. En G. Chen, V. Kumar, Kinshuk, R. Huang, and S. C. Kong

- (Eds.), *Emerging Issues in Smart Learning* (pp. 247-250). Springer Berlin Heidelberg. Recuperado de http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-44188-6_34
- Fontenla, J., Caeiro, M., & Llamas, M. (2010). CITA04 - A SOA Architecture to Improve the Tailorability and Extensibility of e-Learning Systems. *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, 8(2), 135-140. <http://doi.org/10.1109/TLA.2010.5514439>
- González, C., Blobel, B., and López, D. M. (2010). Ontology-based interoperability service for HL7 interfaces implementation. *Studies in Health Technology and Informatics*, 155, 108-114.
- González, M. A. C., Penalvo, F. J. G., Guerrero, M. J. C., and Forment, M. A. (2009a). Adapting LMS Architecture to the SOA: An Architectural Approach. En *Fourth International Conference on Internet and Web Applications and Services, 2009. ICIW '09* (pp. 322-327). IEEE.
- Goodchild, M. F. (1999). *Interoperating Geographic Information Systems*. Springer.
- Hardy Ryan Chingal Martínez, and Carlos Alberto Rivera Farinango. (2011). *Estudio de Viabilidad Técnica para la Interoperabilidad de Servicios de E-Learning mediante Procesos Web*, Caso de Estudio Universidad del Cauca.
- Hernández, E. (2003). *Estándares y especificaciones de e-learning: ordenando el desorden*. Universidad de Valencia España. Recuperado de <http://www.uv.es/ticape/docs/eduardo.pdf>
- Home | Sakai. (2014). Recuperado 24 de marzo de 2015, a partir de <https://www.sakaiproject.org/>
- IMS. (2014). IMS AF. Recuperado de <http://www.imsglobal.org/af/>
- IMS CP. (2014). Recuperado 21 de octubre de 2014, a partir de <http://www.imsglobal.org/content/packaging/>
- IMS GLC-RDCEO. (2010). Recuperado 21 de febrero de 2015, a partir de <http://www.imsglobal.org/competencies/>
- IMS LD. (2014). Recuperado 2 de noviembre de 2014, a partir de <http://www.imsglobal.org/learningdesign/>
- IMS QTI. (2014). Recuperado a partir de <http://www.imsglobal.org/question>
- J, V., R, F., A, F., & J.L, P. (2008). *entornos de aprendizaje virtual adaptativos e interoperables*. Asociacion colombiana de ingeniería. Recuperado de http://atreides.udg.edu/bcds/images/bcds/papers/pdf/entornos_de_aprendizaje_virtual_adaptativos_e_interoperables.pdf
- JXML2OWL Project. (s. f.). Recuperado 17 de noviembre de 2014, a partir de <http://jxml2owl.projects.semwebcentral.org/>
- Kontio, J., Bragge, J., and Lehtola, L. (2008). The Focus Group Method as an Empirical Tool in Software Engineering. En F. Shull, J. Singer, and D. I. K. Sjøberg (Eds.), *Guide to Advanced Empirical Software Engineering* (pp. 93-116). Springer London. Recuperado a partir de http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-84800-044-5_4
- Lee, M. C., Tsai, K. H., and Hsieh, T. C. (2011). A multi-strategy knowledge interoperability framework for heterogeneous learning objects. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 4945-4956.
- Lee, M.-C., Tsai, K.-H., Hsieh, T. C., Chiu, T. K., & Wang, T.-I. (2007). An Ontological Approach for Semantic Learning Objects Interoperability. En *Seventh IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, 2007. ICALT 2007* (pp. 222-226). <http://doi.org/10.1109/ICALT.2007.63>
- Levshin, D. V. (2009). Mapping Relational Databases to the Semantic Web with Original Meaning. En D. Karagiannis and Z. Jin (Eds.), *Knowledge Science, Engineering and Management* (pp. 5-16). Springer Berlin Heidelberg. Recuperado a partir de http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-10488-6_5
- Lluvia Morales, and Jesús Miguel García-Gorrosieta. (2010). LMSPlan: An Architecture to Integrate

- Adapted Learning Sequences with LMS's., *Research in Computing Science: Special Issue on Advances in Artificial Intelligence* 51, 189-196.
- LOM. (2002). Recuperado a partir de <http://ltsc.ieee.org/wg12/par1484-12-1.html>
- .LRN Home. (2015). Recuperado 24 de marzo de 2015, a partir de <http://dotlrn.org/>
- Lynch, C. A. (1991). The Z39.50 Information Retrieval Protocol: An Overview and Status Report. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 21(1), 58–70. <http://doi.org/10.1145/116030.116035>
- Malhotra, N. K. (2004). *Investigación de Mercados, Un enfoque aplicado*. Cuarta Edición. Editorial Pearson Educación. Recuperado a partir de <http://dro.deakin.edu.au/view/DU:30010285>
- Malik, H. W. (2009). Visual semantic web: ontology based E-learning Management system. *Blekinge Institute of Technology, Sweden*. Recuperado de [http://www.digitalamedier.bth.se/fou/cuppsats.nsf/all/d6ac07599708c7a0c125755b0032b1da/\\$file/Copy%20of%20Master-%20Thesis-hwma0711.pdf](http://www.digitalamedier.bth.se/fou/cuppsats.nsf/all/d6ac07599708c7a0c125755b0032b1da/$file/Copy%20of%20Master-%20Thesis-hwma0711.pdf)
- Martínez, H. R. C., & Farinango, C. A. R. (2011). *Estudio de Viabilidad Técnica para la Interoperabilidad de Servicios de E-Learning mediante Procesos Web, Caso de Estudio Universidad del Cauca*.
- Mascardi, V., Cordì, V., & Rosso, P. (2007). A Comparison of Upper Ontologies. En *WOA* (pp. 55–64). Recuperado a partir de <http://woa07.disi.unige.it/papers/mascardi.pdf>
- Mikic-Fonte, F. A., Burguillo-Rial, J. C., Llamas-Nistal, M., & Fernandez-Hermida, D. (2010). A BDI-based intelligent tutoring module for the e-learning platform INES. En *2010 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)* (pp. T1J-1-T1J-6). IEEE. <http://doi.org/10.1109/FIE.2010.5673365>
- Moodle - Open-source learning platform | Moodle.org. (2015). Recuperado 24 de marzo de 2015, a partir de <https://moodle.org/>
- Moquillaza Henríquez, S., Henríquez, S. D. M., Huerta, H. V., & Grados, L. A. G. (2014). Programación en N capas. *Revista de investigación de Sistemas e Informática*, 7(2), 57 - 67.
- Morales, L., and García-Gorrosieta, J. M. (2010). LMS Plan: An Architecture to Integrate Adapted Learning Sequences with LMS's. *LMS Plan: An Architecture to Integrate Adapted Learning Sequences with LMS's.*, 51, 189-196.
- Munk, S. (2005). *Interoperability in the Infosphere. Challenges, Problems, Solutions*. Recuperado de <http://www.defenceandstrategy.eu/cs/archiv/rocnik-2005/1-2005/interoperability-in-the-infosphere-challenges-problems-solutions.html>
- Myroshnichenko, I., and Murphy, M. C. (2009). Mapping ER schemas to OWL ontologies. En *Semantic Computing, 2009. ICSC'09. IEEE International Conference on* (pp. 324–329). Recuperado de http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5298643
- Najjar, J., Duval, E., Ternier, S., and Neven, F. (2003). Towards Interoperable Learning Object Repositories: The Ariadne Experience. En *ICWI* (pp. 219–226). Recuperado de [http://gcc.uni-paderborn.de/www/WI/WI2/wi2_lit.nsf/d2f7ed56380ef2fdc125683100441206/d728d6d6ad9c125718400071ced/\\$FILE/TowardsInteroperable.pdf](http://gcc.uni-paderborn.de/www/WI/WI2/wi2_lit.nsf/d2f7ed56380ef2fdc125683100441206/d728d6d6ad9c125718400071ced/$FILE/TowardsInteroperable.pdf)
- Ochoa, X., Carrillo, G., and Cechinel, C. (2014). Use of a Semantic Learning Repository to Facilitate the Creation of Modern e-Learning Systems. En *Proceedings of the XV International Conference on Human Computer Interaction* (p. 92). ACM. Recuperado de <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2662345>
- OKI. (2012). *Projecte OKI*. Recuperado r de <http://www.okiproject.org/>
- Pearson *Learning Studio*. (2015). Recuperado 24 de marzo de 2015, a partir de <http://www.pearsonlearningsolutions.com/pearson-learning-studio/>
- Qian, Y., Li, Y., Song, J., & Yue, L. (2009). Discovering Complex Semantic Matches between Database Schemas. En *Web Information Systems and Mining, 2009. WISM 2009. International Conference on* (pp. 756–760). IEEE. Recuperado de http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5368370
- Raju, P., & Ahmed, V. (2012). Enabling technologies for developing next-generation learning

- object repository for construction. *Automation in Construction*, 22, 247-257. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.07.008>
- Rodríguez, T., Rosa, P., & Cardoso, J. (2006). Mapping XML to Existing OWL ontologies. En *International Conference WWW/Internet* (pp. 72–77). Citeseer.
- Sanchis, R. (2013, septiembre). *Análisis comparativo de LMS*. Politecnica de Valencia. Recuperado a partir de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/31932/Memoria.pdf?sequence=1>
- Santos, J. M., Anido, L., and Llamas, M. (2007). Capítulo 4 ELEARNING-ONT: Metodología y Sub-ontologías. *TICAI 2006*, 31.
- Santoso, H. A., Haw, S.-C., & Abdul-Mehdi, Z. T. (2011). Ontology extraction from relational database: Concept hierarchy as background knowledge. *Knowledge-Based Systems*, 24(3), 457–464.
- SCORM. (2012). SCORM. Recuperado a partir de <http://www.adlnet.gov/capabilities/scorm>
- Sequeda, J. F., Tirmizi, S. H., Corcho, O., and Miranker, D. P. (2011). Survey of directly mapping sql databases to the semantic web. *Knowledge Engineering Review*, 26(4), 445–486.
- Serrano, C. E. (2002). *Modelo integral para el profesional en ingeniería*. Recuperado 29 de octubre de 2014, a partir de <http://www.librosyeditores.com/tiendalemoine/ingenieria/1302-modelo-integral-para-el-profesional-en-ingenieria.html>
- Shvaiko, P., and Euzenat, J. (2005). A survey of schema-based matching approaches. En *Journal on Data Semantics IV* (pp. 146–171). Springer. Recuperado a partir de http://link.springer.com/chapter/10.1007/11603412_5
- Sun, X. L., and Rose, E. (2003). Automated schema matching techniques: An exploratory study. Recuperado a partir de <http://mro.massey.ac.nz/handle/10179/4396>
- Thibault, J. (2011, mayo 20). *Moodle News*. Recuperado a partir de <http://www.moodlenews.com/2011/blackboard-usage-drops-6-moodle-grows-to-10-market-share-according-to-itc-survey/>
- Tolk, A. (2004). *Composable Mission Spaces and M and S Repositories—Applicability of Open Standards*. En *Spring Simulation Interoperability Workshop, Arlington (VA)*. Recuperado a partir de <ftp://ftp.cs.odu.edu/pub/ibl/colloquium/spr04/tolk04S-SIW-009.pdf>
- Torres, I. D., Luna, J. A. G., & Builes, J. A. J. (2013). Lyrebird: A Learning Object Repository Based on a Domain Taxonomy Model. En *Innovations and Advances in Computer, Information, Systems Sciences, and Engineering* (pp. 949–960). Springer. Recuperado a partir de http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-3535-8_79
- Vavliakis, K. N., Grollios, T. K., & Mitkas, P. A. (2013). RDOTÉ – Publishing Relational Databases into the Semantic Web. *Journal of Systems and Software*, 86(1), 89-99. <http://doi.org/10.1016/j.jss.2012.07.018>
- Velez J, Fabregat R, Fernandez A, and Petro J.L. (2008). *entornos de aprendizaje virtual adaptativos e interoperables*. Asociacion colombiana de ingeniería. Recuperado a partir de http://atreides.udg.edu/bcds/images/bcds/papers/pdf/entornos_de_aprendizaje_virtual_adaptativos_e_interoperables.pdf
- Wang, J., Wen, J.-R., Lochovsky, F., and Ma, W.-Y. (2004). Instance-based schema matching for web databases by domain-specific query probing. En *Proceedings of the Thirtieth international conference on Very large data bases-Volume 30* (pp. 408–419). VLDB Endowment. Recuperado a partir de <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1316726>
- Web-Ontology Working Group. (2004). *OWL Web Ontology Language Overview*. Recuperado 9 de marzo de 2015, a partir de <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-features-20040210/>