

REACTIVE PLANNING TO DISCOVERY AND COMPOSED LEARNING OBJECT ROUTE

UNA PROPUESTA DE PLANIFICACIÓN REACTIVA PARA DESCUBRIR Y COMPONER DINÁMICAMENTE RUTAS DE APRENDIZAJE

Ing. Ingrid Torres Pardo, PhD. Jovani Jiménez Builes, PhD. Jaime Guzmán Luna.

Grupo de Investigación “Sistemas Inteligentes en la Web - SINTELWEB”

Grupo de Investigación Inteligencia Artificial en Educación.

Inteligencia Artificial en Educación.

Escuela de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Cll. 65 No. 80 -223 Bl. M8A. Medellín, Antioquía, Colombia.

E-mail: {idtorresp, jajimen1, jaguzman}@unal.edu.co

Abstract: This article shows how planning techniques and semantic web technologies can be used for dynamic composition of learning paths in virtual education systems. The main objective of this paper is to propose how a particular type of planning, called reactive planning, it can dynamically compose such a subordinate sequence of learning objects (learning path) associated with a specific goal of a user. This proposal intends to jointly face to uncertain behavior of learning objects and semantic heterogeneity associated to its description.

Keywords: Virtual education, reactive planning, composition of learning paths, semantic heterogeneity, uncertain.

Resumen: Este artículo muestra cómo las técnicas de planificación y las tecnologías de la web semántica se pueden utilizar para la composición dinámica de rutas de aprendizaje en ambientes de educación virtual. El objetivo principal de este trabajo es proponer cómo un tipo particular de planificación automática, llamada planificación reactiva, puede componer de manera dinámica, una secuencia subordinada de objetos de aprendizaje (ruta de aprendizaje), asociados a un objetivo específico de un usuario. Esta propuesta pretende enfrentar conjuntamente el comportamiento incierto de los objetos de aprendizaje y la heterogeneidad semántica asociada a su descripción.

Palabras clave: Educación virtual, planificación reactiva, composición de rutas de aprendizaje, heterogeneidad semántica, incertidumbre.

1. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías educativas basadas en las aplicaciones web tienen cada vez más seguidores [Bittencourt *et al.*, 2008]. Grandes esfuerzos internacionales se llevan a cabo para imponer la integración tecnológica y la organización sectorial en búsqueda del crecimiento y la solidez del aprendizaje virtual [Sangrá, 2011]. En este

contexto, los Objetos de Aprendizaje (OA) están jugando un papel importante para la conceptualización de los futuros modelos y sistemas de enseñanza-aprendizaje [López, 2007]. Su disponibilidad puede estar, o no compartida en internet, implicando grandes esfuerzos encaminados a encontrar y aprovechar los OA en distintos tiempos y contextos, siendo este el problema inicial. Una actividad natural en el

campo de los OA. está siendo representada por los procesos de recopilación en contenedores que los organicen y los mantengan disponibles para diferentes usos. Estos contenedores se conocen como Repositorios de Objetos de Aprendizaje (ROA) [López y García 2005]. Los ROAs, están formando redes para que, además de facilitar la reutilización, los recursos se vuelvan ubicuos, es decir, que quién busca información o contenidos educativos no se preocupe por la fuente y menos aún por su ubicación física. De esta manera, pueden existir a través de la web, infinidad de OA, pero los usuarios que quieren utilizarlos pueden no conocer su existencia o pueden no saber cómo hacerlo.

En ese sentido, crecientes esfuerzos, se han enfocado en el desarrollo de tecnologías que permitan la estandarización principalmente cubiertos por un conjunto de metadatos, los cuales pueden ser usados para describir las características principales de un OA [IEEE Standards Department, 2002] o para establecer las normas de empaquetamiento de los OA dentro de una estructura de contenido educativo [Thropp, 2004]. Pese a dicha estandarización la reutilización e interoperabilidad, de los OA, aún continúa siendo una tarea compleja. Una solución emergente, que está siendo exitosamente aplicada en otros dominios, está representada en el proceso de composición, el cual, trasladado al ámbito educativo virtual puede ser usado en la construcción de rutas de aprendizaje [Garrido, 2009]. Estas como una interconexión secuencial, subordinada y no anticipada de OA, que satisfacen un objetivo específico de un usuario.

Sin embargo, la composición de rutas de aprendizaje, constituye por sí misma una tarea nada trivial, debido a dos problemas específicos: (i) la búsqueda de los OA y (ii) la interconectividad de los mismos para construir la ruta de aprendizaje.

La búsqueda, por el momento puede ser hecha a través de diferentes mecanismos de recuperación, tales como la búsqueda por palabras claves inmersas en los metadatos del propio OA. De esta manera es posible recobrar de un repositorio un OA específico. Desafortunadamente, no existe una normalización semántica sobre cómo rellenar esos metadatos, al igual que no existe una normalización de los términos inmersos en un determinado dominio de conocimiento, lo cual frena la reutilización efectiva de los recursos digitales [García, 2010].

El otro problema se relaciona con la interconectividad misma de los OA; una vez encontrados los OA, el usuario que va a usar tales recursos (persona o agente), debe saber cómo hacer para combinarlos unos con otros. Este proceso puede ser hecho, usando técnicas de planificación en inteligencia artificial [Weld, 1999], las cuales se enfocan en la automatización de tareas, para alcanzar un objetivo explícito. Sin embargo, la comunidad de planificación, cuando aplica estas técnicas en dominios altamente dinámicos, debe lidiar con la observabilidad parcial del estado [Carman et al, 2003]. Este inconveniente, se relaciona con el continuo movimiento de un ambiente no controlado. Por lo cual, dentro del ambiente educativo virtual, parece imposible saber cuáles recursos digitales, asociados a los OA, estarán disponibles o no, en un determinado momento, dado que están bajo el control del administrador del ROA.

De esta manera, este trabajo, intenta combinar técnicas de planificación inteligencia artificial, con tecnologías de la web semántica, a fin de lograr de manera automática composiciones de rutas de aprendizaje en ambientes virtuales, considerando enfrentar conjuntamente la heterogeneidad semántica de los OA y la incertidumbre en la disponibilidad de los OA (como recurso digital).

Enfocados, en solucionar los anteriores inconvenientes el presente artículo, se organiza como sigue: en la sección dos, se describen algunos conceptos del marco teórico. La sección tres, describe los problemas y las soluciones actuales para descubrir y componer OA. La sección cuatro, recopila una breve discusión relacionada con el dominio expuesto y presenta la arquitectura del modelo propuesto. Finalmente, en la conclusión, se explica cómo planificación reactiva puede ayudar en el proceso de composición.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Descripción de los OA

Formalmente no hay una única definición del concepto de OA, [IEEE Standards Department, 2002; Masón *et al.*, 2003; Willey, 2003]. Sin embargo, es conveniente citar que como un intento de unificación y para el alcance de esta propuesta, un OA se entenderá, como todo material estructurado de una forma significativa, que debe estar asociado a un objetivo de aprendizaje y debe corresponder a un recurso de carácter digital que

puede ser distribuido y consultado a través de la web. El OA debe contar además, con una ficha de registro o metadato consistente en un listado de atributos que además de describir el uso posible del OA, permite la catalogación y el intercambio del mismo.

Bajo este enfoque, se ha citado con notable frecuencia, el tema de la estandarización, debido a que al manejar diferentes tipos de recursos para distintas aplicaciones y con diferentes tecnologías – realidad propia del ambiente virtual – la estandarización se vuelve un tópico clave para seguir operando e incluso creciendo las aplicaciones actuales. Entre estas iniciativas cabe destacar: (i) LOM (de sus siglas en inglés Learning Object Model [IEEE Standards Department, 2002]), este estándar especifica la sintaxis de un conjunto mínimo de metadatos necesario para, completa y adecuadamente, identificar, administrar, localizar y evaluar un OA. Su propósito es facilitar a autores, alumnos y a sistemas automáticos, la tarea de buscar, compartir e intercambiar OA. Un segundo estándar es el (ii) SCORM, (de sus siglas en inglés, Sharable Content Object Reference Model [Thropp, 2004, ADL, 2001]), el cual corresponde a un subconjunto de estándares y especificaciones para compartir, reutilizar, importar y exportar OA (ver Fig. 1).

Este modelo describe cómo se relacionan, las unidades de contenidos, unas con otras a diferentes niveles de granularidad, cómo se comunican los contenidos con el LMS, define cómo empaquetar los contenidos para importarse y exportarse entre plataformas y describe las reglas que un LMS debe seguir a fin de presentarlo en un aprendizaje específico. Sin embargo este estándar que antes estaba enfocado a empaquetar todo el contenido del OA incluyendo el recurso digital; está siendo trasladado a usar referencias (ya no a empaquetarlos) a otros recursos digitales, disponibles en la web. Lo cual contribuye a alivianar la carga de datos de los ROA, a la vez que fomenta la reutilización del recurso.

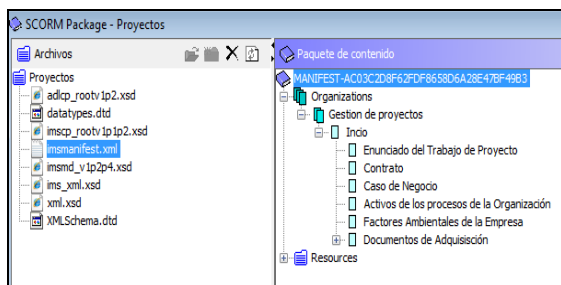


Fig. 1. Ejemplo SCORM

2.2 Búsqueda de los OA

Los modelos formales que soportan la web semántica [Beerners-Lee, 2001], proporcionan más conocimiento para los contenidos (imágenes, videos, links, entre otros), permitiendo la automatización de muchas tareas actualmente desarrolladas por humanos. En particular la semántica, busca producir un mundo donde las ontologías [Gruber, 1993], permitan una mayor automatización de las tareas a través de estructurar los recursos disponibles en la web, con el fin de que los agentes de software analicen y ejecuten procesos de búsqueda, descubrimiento automático, invocación, interoperabilidad, ejecución y por lo tanto composición [García, 2004]. Tales ontologías, debe ser lo suficientemente expresivas, así como deben describir las propiedades de los dominios relacionados que para el caso específico corresponde a los OA. La web semántica se introdujo con el RDF [RDF, 2004] (*Resource Description Framework*) el cual proporciona un lenguaje de ontologías rudimentario, este permite la representación de las clases, propiedades, dominio y subclases más jerarquías de superclases. El RDF ha evolucionado a un lenguaje más expresivo llamado OWL [OWL, 2004; OWL 2009]. Con la primera versión de OWL (1.0) [OWL, 2004], son posibles las siguientes propiedades: (i) definición de clases mediante restricciones sobre propiedades, valores o cardinalidad; (ii) definición de clases mediante operaciones booleanas sobre otras clases: intersección, unión y complemento; (iii) Relaciones entre clases (p.ej. inclusión, disyunción, equivalencia); (iii) propiedades de las relaciones (p.ej. inversa, simétrica, transitiva); (iv) cardinalidad (p.ej. “únicamente una”). (v) Igualdad y desigualdad de clases; (vi) clases enumeradas. Sin embargo, la versión se ha extendido a OWL 2.0 [OWL, 2009], cual incluye: (vii) restricciones de cardinalidad, (viii) propiedades asimétrica, reflexiva y disyuntiva, entre otras.

Generalmente los OA se encuentran empaquetados en cursos completos (SCORM), que reposan en los ROA. Por lo cual, el problema del descubrimiento de los OA, puede corresponder a la siguiente situación: Un ROA, puede tener diferentes OA con diferente sintaxis, pero semánticamente similares (o viceversa). Por ejemplo, puede existir un OA1 denominado Programación Orientada a Objetos, mientras que otro, puede corresponder a Curso de JAVA. Como resultado un sistema de interoperación no podrá conocer la compatibilidad semántica. Adicionalmente, no existe una

normalización semántica que regule los metadatos de un OA. Por lo cual, la información puede ser incomprensible, y por consiguiente tampoco será reconocible la compatibilidad.

La estructuración semántica de la información, permite unificar los vocabularios, de manera tal que la gestión de información (descubrimiento, búsqueda, recuperación, actualización, inserción y hasta la composición), puedan ser regidos por ese esquema conceptual; facilitando la interpretación y automatización de los procesos.

2.3 Composición de rutas de aprendizaje

La idea detrás de la composición de OA es esencia, que los propios OA sean los que interactúen entre sí (ya no a través del usuario), para formar un camino, perfectamente adaptado a las necesidades de un usuario. La finalidad, de la composición de rutas de aprendizaje, consiste entonces, en la creación dinámica (no anticipada) de una secuencia subordinada de OA, lograda a partir de otros OA ya existentes. Dicha composición debe involucrar, el contexto de la ejecución, el cual para un OA, implica una operación compleja, ya que involucra el proceso de envío y recepción de mensajes, que permitan visualizar un recurso digital.

Actualmente muchas composiciones de rutas de aprendizaje se realizan manualmente [Sicilia *et al.*, 2006], así como también, las ejecuciones son manuales.

Por otro lado, se encuentra la planificación en inteligencia artificial. La cual corresponde a un proceso de deliberación explícita y abstracta, que escoge y organiza las acciones anticipándose a los resultados esperados [Traverso *et al.*, 2004]. Esta deliberación busca alcanzar de la mejor manera que sea posible algunos objetivos preestablecidos. Convirtiéndose, en un problema de búsqueda que requiere encontrar una secuencia eficiente de acciones que conducen a un sistema desde un estado inicial hasta un estado objetivo [Weld, 1999] (ver Fig. 2).

```
(:init
  (user_knows student123456 Enunciado)(user_knows student123456 Caso)(user_knows
  student123456 Activos)(user_knows student123456 Factores)(user_knows student123456 Documentos)
  (user_knows student123456 Nothing)(learning_style student123456 theoretical)
  (:goal (user_knows student123456 Inicio)))
```

Fig. 2. Estado inicial y objetivo

En resumen, se puede decir, que la composición no es un concepto nuevo. Los planes (resultado de un proceso de planificación IA), son una colección (o composición) de actividades o tareas relacionadas

entre sí mediante flujo de datos y de control. Por esta razón esta técnica es a priori, candidata como mecanismo para la composición dinámica de rutas de aprendizaje.

3. PROBLEMÁTICA Y TRABAJOS RELACIONADOS

En esta sección se presenta una breve recopilación del los problemas asociados a la construcción de cursos (como rutas de aprendizaje) y cómo han sido enfrentados por algunos autores, bajo los enfoques de la planificación en inteligencia artificial y/o las tecnologías de la web semántica. Específicamente la revisión se ha concentrado en la aplicación de soluciones a: (i) la heterogeneidad semántica, y (ii) el comportamiento incierto de los elementos del dominio educativo.

3.1 Enfoques para rutas de aprendizaje desde la Planificación

Desde 1986 cuando Peachy y McCalla [McCalla y Peachey, 1986] propusieron la integración de las técnicas inteligentes de planificación de manera que fuera posible mejorar la ruta de un curso embebido en un Sistema Tutorial Inteligente (ITS por las siglas en inglés de *Intelligent Tutoring Systems*); han existido algunas otras propuestas de aplicación de las técnicas de planificación dentro del ambiente de aprendizaje virtual, todas ellas enfocadas desde diferentes técnicas de planificación IA, como el HTN, la planificación basada en estados o los híbridos.

El trabajo de Ullrich [Ullrich, 2005] basa la generación de un curso en tareas y métodos pedagógicos, integrando una estrategia de aprendizaje constructivista, utilizando para ello, el planificador HTN SHOP2. Su propuesta expresa los objetivos pedagógicos como tareas y las actividades para conseguirlos como métodos. Agrega metadatos definidos por el estándar LOM y trabaja sobre un sistema tutorial inteligente llamado *LeActiveMath*. De igual manera plantea, un concepto interesante denominado métodos *fallback*, los cuales permiten hacer una llamada a actividades extras, con las mínimas restricciones posibles, en caso de que no existiese otra actividad disponible que logre el objetivo de aprendizaje formulado por algún alumno del curso. La iniciativa, afronta la posibilidad de reemplazar un OA por otro, aunque de manera limitada. Sin embargo, la heterogeneidad semántica, no es un alcance de este trabajo.

Sicilia [Sicilia *et al.*, 2006], propone la generación semiautomática de diseños de aprendizaje (LD), a través de la aplicación de técnicas de planificación en inteligencia artificial combinada con algunos agentes diseñadores pedagógicos, que puedan ser equipados con diferentes "Racionalidades" sobre el aprendizaje humano. El modelo se basa en el IMS LD, y en el uso del planificador JSHOP [Nau *et al.*, 1999]. En él, se propone obtener los OA de repositorios distribuidos, haciendo búsquedas sobre ellos para cubrir las necesidades del LD. El enfoque difiere de otros usos de la planificación, ya que las tareas a convenir son aquellos que generan una instancia de IMS LD y no las que representan las enseñanzas reales o las actividades de aprendizaje. Este enfoque, aborda la limitante determinista de planificación, aunque bajo la perspectiva de configuraciones a priori de algunos agentes, que son reducidas a la representación de "todas" las posibles combinaciones pedagógicas del aprendizaje humano. Respecto a la heterogeneidad, el autor decide no asumirla, dado que manifiesta que la incorporación de ontologías demanda la instanciación a priori del dominio, lo cual limita las expansiones inesperadas del conocimiento. En consecuencia propone usar referencias genéricas sin ninguna profundidad semántica.

Un trabajo más reciente de aplicación de planificación, está representado por SICAD+ (Sistema Inteligente de Cursos ADaptativos + Sistemas Multi-agente), [Duque, 2009], el cual sigue algunos principios de desarrollo de Ullrich, a través del uso del algoritmo de planificación HTN; pero esta vez incorporando, la tecnología multi-agente, con lo que persigue un esquema genérico de personalización de los cursos. El autor, permite, adaptar el curso a los perfiles de un estudiante, a la vez que asocia materiales y actividades que reconozca en la práctica (modelo de dominio). El modelo permite además, representar la estructura curso a partir de la jerarquía de los logros esperados (OE) y Unidades Educativas (UE); Otorga la posibilidad de reutilizar los OE y las UE, en la generación de nuevos cursos personalizados. El modelo propuesto aunque logra ser adaptativo, el costo de definición de otro dominio tiende a ser muy elevado, debido a la exigente labor de descripción del curso, exigida por la planificación HTN. Entre sus alcances, no considera la incertidumbre del ambiente al igual, que no ocupa de la heterogeneidad semántica.

En su propuesta, Kontopoulos [Kontopolus *et al.*, 2006] presenta la herramienta PASER (Planificar

para la Síntesis Automática de Recursos Educativos), en la cual, utiliza, el planificador basado en estados HAPEDU para construir recorridos de aprendizaje, sin tomar en cuenta ningún tipo de restricciones indeterministas, sin embargo, especifica ontologías de competencias, sobre los OA. En éste caso los objetivos de aprendizaje los selecciona el alumno a partir de un diccionario de temas, especificado en RDF y a través de un rol proveedor de contenidos, es posible generar y etiquetar los OA, además de definir los temas. El alumno también define sus preferencias y su nivel de conocimiento; según menciona, este nivel de competencia se utiliza para replanificar, pero no hace claridad al asociar la complejidad del nivel con la manera en que se generan el dominio y el problema. Respecto a la ontología RDF, esta únicamente se asocia a la definición de competencias ignorando el esquema del curso y la interacción entre estudiantes. El trabajo, aunque aborda la semántica, únicamente la enfoca a las competencias, además la ontología se desarrolla en RDF, un estándar semántico pionero pero limitado. Además no considera tratar el comportamiento incierto del dominio.

En CAMOU [Camacho y R-Moreno, 2007], los autores presentan una propuesta para asistir a los profesores en el difícil proceso de diseño y análisis de un curso. Utiliza la herramienta IPSS, la cual, es un planificador basado en estados, con un secuenciador integrado en cada fase del proceso de planificación, para poder manejar las restricciones temporales asociadas a cada unidad de aprendizaje de un LD preestablecido. La principal aportación de este trabajo, se centra en el proceso de replanificación que completa un curso a partir de un LD inicial, dadas las estadísticas de evaluación fallidas de los estudiantes. Para llevar a cabo este proceso crea una herramienta completa, más no por ello robusta, de generación de cursos y asocia cada pregunta de un examen dado a una unidad de aprendizaje específica, lo cual, puede llegar a ser muy restrictivo. Por otro lado, no define criterios claros, salvo el tiempo, para decidir cuando una unidad de aprendizaje debe ser o no incluida en el nuevo LD, ni permite incorporar las nociones incertidumbre, ni de heterogeneidad semántica inmersa en los ambientes de aprendizaje virtual.

En el enfoque Boticario y Santos [Boticario y Santos, 2007], se presenta una arquitectura llamada aLFanet, que se basa en objetivos, actividades de aprendizaje, perfiles de usuario y servicios, para soportar de forma interrelacionada los pasos del proceso de adaptación en un ambiente de

aprendizaje, que, según la visión corresponden a una experiencia de aprendizaje, administración, uso y auditoría. Su principal aportación, hasta el momento, se centra en indicar claramente cuáles son los principales problemas en el proceso de generación de un diseño de aprendizaje. Las aportaciones de la propuesta se ven centradas en las adaptaciones del proceso de planificación y el monitoreo del alumno, siendo este último basado en la comprobación adquisición de conocimiento. Sin embargo, no se ocupa de validar la incertidumbre que involucra el proceso y que pudo estar apoyada en la misma u otra herramienta paralela de monitoreo. La heterogeneidad semántica, no representa ningún tipo de preocupación para los autores.

En Garrido [Garrido *et al.*, 2009], se hace especial énfasis en las necesidades individuales de los alumnos y en promover una mayor autonomía en el auto-aprendizaje. Su trabajo se centra en la elaboración de cursos adaptados al perfil y a las necesidades reales de cada estudiante, basados en LRNPlanner, una herramienta integrada para la definición y resolución de las rutas de aprendizaje que utilizan las técnicas de la planificación heurística. Para ello hacen uso de una aproximación que se compone de una herramienta de autor para el modelado de OA y un planificador inteligente que, posteriormente, construye una ruta de aprendizaje con dichos objetos. La flexibilidad en el modelado de los cursos y la adaptabilidad de las rutas, son las dos principales funcionalidades que ofrece esta aproximación. El modelo propone otros aspectos de los que carecen los sistemas reales, los cuales se constituyen en: la insuficiente gestión explícita de tiempo, el consumo de recursos o la sincronización de las actividades de un grupo. Afirma, que el actual aprendizaje virtual, se centra en el diseño de rutas de aprendizaje y pasa por alto la viabilidad de la ejecución de las rutas en un escenario particular de aprendizaje. Los autores, sin embargo, abordan la viabilidad de la ejecución de las rutas de aprendizaje desde consideraciones temporales y la optimización de recursos, pero no desde el indeterminismo propio del ambiente, tampoco, manifiesta preocupación por la heterogeneidad conceptual del dominio.

3.2 Enfoques para rutas de aprendizaje desde la web semántica

La comunidad de la web semántica, recientemente ha iniciado la exploración del dominio de aprendizaje virtual. Algunas de las propuestas, se han centrado en el desarrollo de plataformas de

aprendizaje, a partir de la implementación de arquitecturas orientadas a servicios (SOA, por su siglas en inglés, *Services Oriented Architecture* [Papazoglou *et al.*, 2003]). Como ejemplo de ello, se citan a continuación, algunos de los trabajos más representativos.

Soto [Soto *et al.*, 2007], parte del diseño de una ontología que recopila todos los conceptos asociados a la definición de OA, tal ontología la denomina SLOR (*Semantic Learning Object Repository*). En ella, cualquier concepto enlazado a la representación de una actividad de aprendizaje es considerado un OA. Este nuevo modelo debe proporcionar una serie de funcionalidades adaptadas a cada conceptualización particular de OA y no necesariamente restringidas a una única definición. La flexibilidad de este nuevo esquema, permitirá almacenar en un repositorio cualquier tipo de información sobre un OA, normalizada o sin normalizar, y si se desea (depende de la concepción particular del creador) con la especificación del propósito educativo del mismo. Este enfoque puede servir como el pilar de un nuevo modelo de repositorio de OA, donde el diseño está basado en un sólido modelo semántico que incluye todas las definiciones del análisis de McGreal. Los clientes del repositorio (usuario finales, agentes software y sistemas de administrador de contenidos didácticos), podrían, entre otras funcionalidades, añadir, recuperar, modificar y buscar objetos de aprendizaje a pesar de la conceptualización utilizada por el creador. Sin embargo, esta gama de posibilidades del cliente, queda abierta y no es explotada por el autor. La propuesta, entonces propone una desambigüedad del dominio, pero no implementa procesos (búsqueda, recuperación, composición). La incertidumbre del ambiente no es asumida por el autor.

El trabajo de Vossen [Vossen y Jaeschke, 2003], se ha direccionado a diferentes etapas del aprendizaje virtual. Inicialmente indica, que los OA se pueden almacenar en una base de datos relacional y son típicamente un conjunto de atributos, algunos de los cuales son obligatorios, y otros opcionales. De manera similar, existe otra información pertinente a un sistema de aprendizaje, por ejemplo, los datos personales de un alumno, los perfiles, los mapas del curso, la secuencia de OA, la presentación de la información, entre otros, los cuales, sugiere asignar a las estructuras de la base de datos común. Esto hace posible la interoperabilidad y además de permitir un proceso de apoyo dentro de un sistema de aprendizaje virtual [Vossen y Westerkamp,

2003a]. De hecho, define que el área del aprendizaje virtual, consiste en una multiplicidad de actividades complejas, tales como la creación de contenidos o el seguimiento de alumnos y la administración, la cual interactúa con los recursos (incluidas las personas como los alumnos y los autores) y con el mundo exterior (como los sistemas de software existentes) de forma predefinida. Estas actividades son modeladas como *workflows* y servicios y pueden ser atribuidas y asociadas, con varios de los componentes de una plataforma de aprendizaje [Vossen y Westerkamp, 2003a]. La propuesta contempla algunas especificaciones ontológicas, en especial para unificar la conceptualización de los OA de los diferentes repositorios, sin embargo, no se ocupa del acceso a los mismos, debido a que asume que son responsabilidad de los creadores y que es a ellos a quienes más le conviene su actualización y disponibilidad.

Este trabajo, es el más fuertemente relacionado con la presente propuesta. En él el autor [Torres, 2006], se ocupa de representar un proceso de aprendizaje complejo (CPL), como la integración dinámica y no anticipada de los diversos enfoques pedagógicos en un proceso de aprendizaje virtual. Este modelo está basado en la colaboración determinante entre el autor y el alumno. El modelo especifica una arquitectura SOA, bajo los IMS. La composición y ejecución la logra a través de la técnica de BPEL. El proceso de composición de aprendizaje y la ejecución de lenguajes (LPCEL), lo propone realizar en cuatro etapas usando el CPL. De esta manera el modelo propone iniciar con la caracterización de las clases de lenguajes y continúa, con la descripción del rol en un ambiente que soporta la tecnología del aprendizaje. La propuesta acoge la idea de lograr una composición con ejecución de un proceso de aprendizaje, el cual conceptualmente se asocia con la definición de ruta de aprendizaje. Aunque el modelo se extiende en las consideraciones pedagógicas, asume que la composición se da bajo la premisa de una web determinista, donde no tienen acogida las nociones de incertidumbre. La heterogeneidad la trata a través de la especificación de lenguajes formales y la generación de ontologías de dominio, que desarrolla y extiende a varios repositorios.

A continuación a manera de resumen, se anexan dos Tablas (1 y 2), que recopilan todos los trabajos citados; indicando brevemente si afrontan o no: (i) el comportamiento incierto y (ii) la heterogeneidad semántica inmersa en el dominio.

4. ARQUITECTURA PROPUESTA

Como se deduce de las Tablas 1 y 2, a la fecha ninguno de los trabajos considerados, ha tratado de manera conjunta la heterogeneidad semántica inmersa en el dominio de los OA y la incertidumbre en la disponibilidad de los mismos. En especial ninguno de ellos, se ha ocupado por considerar, la disponibilidad de los OA dentro del propio proceso de adquisición del conocimiento, dado que hasta ahora se han concentrado en descargar el OA completo, incluyendo el recurso digital asociado, a fin de almacenarlo en un zip, sin tener en cuenta que estos sistemas implementan un trabajo colaborativo que permitiría la alteración (modificar, eliminar o adicionar) de los OA que pueden estar involucrados en una ruta de aprendizaje generando conflictos en su ejecución. Así mismo, la búsqueda de dichos objetos educativos aún sigue siendo muy manual y a veces poco acertada debido a la ambigüedad del lenguaje natural en el que están descritos dichos OA.

En la figura 3 se propone una arquitectura para la composición dinámica de rutas de aprendizaje, que logren un objetivo específico de un usuario enfrentando los anteriores problemas.

En esta arquitectura, la heterogeneidad semántica será tratada haciendo uso de las tecnologías de la web semántica, entre ellas el OWL, el cual será utilizado para describir las clases, subclases y las relaciones de un dominio de conocimiento específico sobre el que se describirán los OA. Por otra parte, con la ontología OWL, también se representarán semánticamente, los OA, minimizando los errores en los procesos de composición y búsqueda de OA., a la vez que permite la automatización de los mismos.

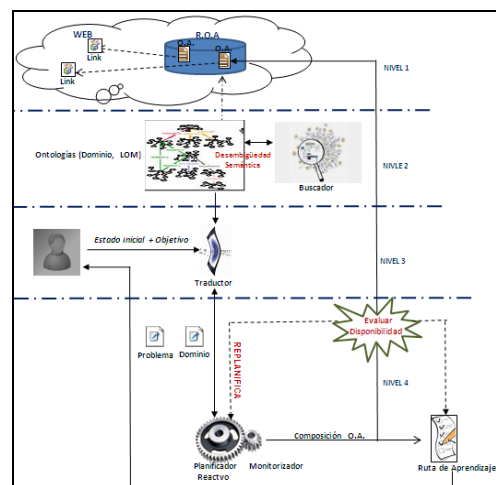


Fig. 3. Arquitectura del Modelo

El proceso de composición de rutas de aprendizaje, será entendido como la creación dinámica (no anticipada) de una secuencia subordinada de OA, lograda a partir de OA ya existentes. Dado que el contexto corresponde a un ambiente virtual, un entorno que no puede ser controlado completamente por un único participante. Es viable, considerar, aplicar una técnica específica como la planificación reactiva, que logre en cada etapa de planificación tener en cuenta la información percibida continuamente del ambiente, a fin de poder incorporarla y tomar decisiones actualizadas.

De esta manera, el proceso de planificación se ejecuta al mismo tiempo que se construyen los planes, sin necesidad de esperar a que un plan

completo sea producido. Este tipo de planificación, es ampliamente usado en dominios de búsqueda de tiempo real, donde las acciones (OA), deben interactuar con el ambiente, dando una respuesta casi instantánea.

Usando una planificación reactiva, los problemas anteriormente identificados en un ambiente de educación virtual son resueltos online. De hecho, el planificador interpretará e indicará, los OA, más adecuados para lograr el objetivo y así, se deberán ejecutar todas las tareas para alcanzarlo. Estas tareas, serán monitoreadas por un mecanismo de invocación, que se encargará de validar la disponibilidad de los OA (como recurso digital).

Tabla 1: Enfoques para rutas de aprendizaje desde la Planificación

ENFOQUES	PLANIFICACION					
	PLANIFICACIÓN JERÁRQUICA			PLANIFICACIÓN BASADA EN ESTADOS		
TRABAJO CARACTERÍSTICA	LeActiveMath [Ullrich, 2005]	IMS LD model [Sicilia et ál. 2006]	SICAd+ [Duque 2009]	PARSER [Kontopolus et ál. 2006]	CAMOU [Camacho y R-Moreno, 2007]	aLFanet [Boticario y Santos, 2007]
Consideración del Comportamiento Incierto de los O.A	limitado Fallback	No tratada	No tratada	No tratada	No tratada	No tratada
Heterogeneidad en los modelos preconceptuales de los O.A	Sintáctico	Sintáctico	Sintáctico	Semántico RDF	Sintáctico	Sintáctico

Tabla 2: Enfoques para rutas de aprendizaje desde la web semántica

ENFOQUES	PLANIFICACIÓN		SEMANTICA		
	PLANIFICACIÓN JERÁRQUICA	PLANIFICACIÓN HÍBRIDO	WEB SEMÁNTICA		
TRABAJO CARACTERÍSTICA	LRNPlanner [Garrido et al. 2008]	ADAPTAPlan [Morales, 2008]	SLOR [Soto et. ál 2007]	LearnServer [Vossen y Westerkamp 2003]	LPCEL [Torres 2005]
Consideración del comportamiento incierto de los O.A	No tratada	No tratada	No tratada	No tratada	Semideterminista (alumno)
Heterogeneidad en los modelos preconceptuales de los O.A	Sintáctico	Sintáctico	Semántico	Semántico	Semántico

En caso de no ser disponible, el mecanismo deberá sugerir un OA que pueda reemplazar al primero, sin afectar, ni generar retrasos, en la necesidad planteada por el usuario. El modelo propone una arquitectura de cuatro niveles. El primer nivel representa el ambiente web (donde se dispondrán algunas referencias a recursos digitales asociados a los OA, además del ROA mismo. El segundo nivel, estará representado por la representación semántica del dominio de conocimiento y los conceptos asociados a los propios OA. En este nivel, también se incluye el buscador semántico el cual actuará entre el dominio de conocimiento y el propio traductor. El tercer nivel, está representado

por un traductor de especificaciones, el cual se encarga de interpretar la solicitud formulada por un usuario, a la vez que traslada de las especificaciones semánticas a un lenguaje entendible por el planificador (XSPDDL) a fin de generar un archivo de dominio y un problema. El Cuarto y último nivel, finalmente hace referencia al planificador reactivo (planificador y monitorizador), lo cuales se encargaran de generar la composición de OA y validar la disponibilidad del recurso además de re-planificar en caso de considerarlo necesario (cuando no está el recurso del OA disponible).

4. CONCLUSIONES

Este trabajo, propone una solución al problema del descubrimiento y la composición de rutas de aprendizaje, basada en un modelo de planificación reactiva haciendo uso de las tecnologías de la Web Semántica.

En este artículo, se han descrito los componentes de una arquitectura que permite la composición de rutas de aprendizaje en ambientes inciertos y heterogéneos.

Un primer permite encontrar los OA que participaran de la propia composición de la ruta de solución, para lo cual, se ha mostrado el uso de la web semántica como un descriptor del dominio de conocimiento y de los OA.

Un segundo componente implementa el uso de una técnica de planificación reactiva, con el fin de hacer efectiva la composición de las rutas de aprendizaje, a la vez que hace frente al problema de la incertidumbre de los OA, como recursos digitales no controlados por el compositor.

Como resultado, se han combinado estos dos enfoques con el fin de automatizar la búsqueda y la composición dinámica de OA, así como también para encontrar el objetivo formulado por el usuario.

5. TRABAJO FUTURO

Como trabajo futuro se propone investigar la aplicabilidad de una técnica de planificación reactiva conocida como planificación y ejecución concurrente que permita construir y reconstruir en tiempo de ejecución las rutas de aprendizaje en ambientes inciertos y heterogéneos. También se propone implementar una aplicación rica y compleja que permita validar la funcionalidad del modelo.

RECONOCIMIENTOS

El presente artículo, refleja algunos aportes preliminares del proyecto de investigación titulado "Modelo de Planificación Reactiva para la Composición Dinámica de Rutas de Aprendizaje en Ambientes Virtuales Inciertos y Heterogéneos", el cual es desarrollado al interior de la Escuela de Sistemas, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia.

REFERENCIAS

- ADL. Sharable Content Object Reference Model Version 1.2. Advanced Distributed Learning, 2001. URL <http://www.adlnet.org>. Consultado febrero de 2011.
- Berners-Lee J., Hendler T. y Lassila, O. (2001). The Semantic Web. Scientific American, Science news Articles 284 (5): 34-43.
- Bittencourt I., Isotani S., Costa E., Mizoguchi. (2008). Research Directions on Semantic Web and Education. Scientia Interdisciplinary Studies Computer Science, 9(1):59-66. 2008.
- Boticario, J.G. y Santos, O.C. (2007). A dynamic assistance approach to support the development and modelling of adaptive learning scenarios based on educational standards. In: Fifth International Workshop on Authoring of Adaptive and Adaptable Hypermedia. International Conference on User Modelling.
- Camacho, D., R-Moreno, M.D., (2007). Obieta, U. CAMOU: A Simple Integrated eLearning and Planning Techniques Tool. In: 4th International Workshop on Constraints and Language Processing. August 2007.
- Carman, M., Serafini, L. y Traverso, P., (2003). Web Services Composition as Planning. In 13th International Conference on Automated Planning & Scheduling ICAPS, Trento, Italy.
- Duque N., (2009). Modelo Adaptativo Multi-Agente para la Planificación y Ejecución de Cursos Virtuales Personalizados. Tesis Doctoral. Doctorado en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia.
- García, F. J. (2004). Web Semántica y Ontologías. En J. F. García & M. Moreno (Eds.), Tendencias en el Desarrollo de Aplicaciones Web (pp. 1-23). Salamanca: Departamento de Informática y Automática, Universidad de Salamanca. 2004.
- García F. (2010). Dos temas controvertidos en eLearning: Objetos de Aprendizaje y Calidad. Learning Review. España.
- Garrido A., Onaindía E. y Sapena O. (2009). Planificación inteligente de rutas de aprendizaje personalizadas. XV JENUI. Barcelona, 8-10 de julio 2009. ISBN: 978-84-692-2758-9. <http://jenui2009.fib.upc.edu/> consultada Agosto 2010.
- Gruber, T. R. (1993). A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. Knowledge Acquisition , 5(2), 199-220. 1993.

- IEEE Standards Department (2002). Draft Standard for Learning Object Metadata. IEEE Publication P1484.12.1/D6.4, Marzo 2002.
- Kontopoulos, E., Vrakas, D. (2006). An Ontology-based Planning System for e-course Generation. In: Expert Systems with Applications, Elsevier, 37 (1).
- López, C. (2005). Los Repositorios de objeto de aprendizaje como soporte a un entorno e-learning. Tesis de Doctorado. Universidad de Salamanca. España.
- López, C. y García, J. F. (2005). Ontologies applied to learning objects repositories for educational environments in the semantic web. Third International Conference on Multimedia and Information & Communication Technologies in Education. 7-10 junio, 2005. Cáceres.
- Mason R., Weller, M. y Pegler, C. Learning in the Connected Economy, The Open University course team, IET, Open University. 2003.
- McCalla, G.I., Peachey, D.R. (1986). Using Planning Techniques in Intelligent Tutoring Systems. In: International Journal of Man-Machine Studies 24, 77-98.
- Nau D., Cao Y., Lotem A., y Muoz-Avila H. (1999). SHOP: Simple Hierarchical Ordered Planner. In IJCAI '99: Proceedings of the Sixteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 968-975. Morgan Kaufmann Publishers Inc. 1999.
- OWL. (2004). <http://www.w3.org/TR/owl-features/> Consultado Enero 2011.
- OWL. (2009). <http://www.w3.org/TR/owl-features/> Consultado Enero 2011.
- Papazoglou, M., Aiello, M., Pistore, M. y Yang, J., (2003). Planning for Requests against Web Services. In Bulletin of the Technical Committee on Data engineering, IEEE Computer Society.
- RDF. "RDF Semantics" (2004). W3C Recommendation 10 February 2004. URL: <http://www.w3.org/TR/rdf-mt/>. Consultado Enero 2011.
- Sangrá A. La qualitat en les experiències virtual d'educació superior.
<http://www.uoc.edu/web/cat/art/uoc/0106020/sangra.html>. (Consultado Enero de 2011).
- Sicilia, M.A., Sánchez-Alonso, S., and García-Barriocanal, E. (2006). On Supporting the Process of Learning Design Through Planners. In F. J. García et al. Editor, Virtual Campus 2006 Selected and Extended Papers, pages 81-89.
- Soto J., García E. y Salvador A. (2007). Semantic learning object repositories SLOR. International Journal of Continuing Engineering Education and Life Long Learning Issue: Volume 17, Number 6 Pages: 32 – 446.
- Thropp, S. (2004). Sharable Content Object Reference Model 2004: Overview. 2a. edición.
<http://www.adlnet.org/scorm/index.cfm>. Consultado Junio 2010.
- Torres J. (2006). Designing the execution of Learning activities in complex Learning Process using LPCEL. Proceedings of the sixth International Conference on advanced learning technologies (ICALT'06). IEEE.
- Traverso P., Ghallab M., Nau D. (2004). "Automated Planning: Theory & Practice", Morgan Kaufmann, 2004.
- Ullrich, C. (2005). Course Generation Based on HTN Planning. In Proceedings of 13th Annual Workshop of the SIG Adaptivity and User Modeling in Interactive Systems, pages 74-79.
- Vossen, G., Jaeschke P. (2003): Learning Objects as a Uniform Foundation for Aprendizaje virtual Platforms. In Proc. 7th International Conference on Database Engineering and Applications (IDEAS), Hong Kong, China, IEEE Computer Society Press, pp. 278-289.
- Vossen, G., P.Westerkamp (2003a). Aprendizaje virtual as aWeb service (extended abstract). In Proc. 7th International Conference on Database Engineering and Applications (IDEAS), Hong Kong, China, IEEE Computer Society Press, pp. 242-249; Technical Report No. 92, IS Dept., University of Muenster, 2003.
- Weld D.S. (1999) Recent advances in AI planning. AI Magazine, 20(2): pp. 93-123, 1999.
- Wiley, D. (2003). Learning Objects: Difficulties and Opportunities, Utah State University, http://wiley.ed.usu.edu/docs/lo_do.pdf. 2003