

Sistema de e-Learning Ubicuo, Sensible al Contexto y Personalizado para Ambientes Virtuales de Aprendizaje

Oscar M. Salazar^{*}, Demetrio A. Ovalle^{*},
Néstor D. Duque[†]

Fecha de recibido: 28/06/2014

Fecha de Aprobación: 09/09/2014

Resumen

La mayoría de los ambientes virtuales de aprendizaje actuales, no presentan características de personalización de contenidos, es decir, no consideran las necesidades y gustos de los estudiantes lo que genera desinterés por parte de estos y retrasa notoriamente el proceso de aprendizaje. Otra falencia evidente en este tipo de sistemas es la incapacidad de ofrecer servicios que permitan al estudiante llevar control de las actividades ligadas al proceso de aprendizaje tales como recepción de alertas inmediatas asociadas a la finalización de tareas, activación de nuevas actividades de aprendizaje, recomendación de asistentes, etc. El objetivo de este artículo es desarrollar un módulo de servicios de awareness que busca orientar y sensibilizar a los estudiantes respecto a su desempeño, presentándoles en tiempo real un historial de las actividades realizadas en su proceso de enseñanza-aprendizaje mientras utilizan el entorno virtual de aprendizaje. Cabe señalar que este módulo es integrado a un sistema multi-agente personalizado de planificación instruccional y recomendación de recursos educativos. Las metodologías empleadas en esta investigación son Prometheus, para la construcción del sistema multi-agente ubicuo y sensible al contexto, y Methontology, para el desarrollo de la ontología que representa el conocimiento

^{*} Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, Facultad de Minas, Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión, GIDIA – Grupo de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial, {omsalazaro, dovalle}@unal.edu.co

^{*} Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, Facultad de Minas, Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión, GIDIA – Grupo de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial, {omsalazaro, dovalle}@unal.edu.co

[†] Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, Facultad de Administración, GAIA – Grupo Ambientes Inteligentes Adaptativos, ndduqueme@unal.edu.co

‡ Se concede autorización para copiar gratuitamente parte o todo el material publicado en la *Revista Colombiana de Computación* siempre y cuando las copias no sean usadas para fines comerciales, y que se especifique que la copia se realiza con el consentimiento de la *Revista Colombiana de Computación*.

del dominio de los Cursos Virtuales Adaptativos, así como de los perfiles de usuario. Cada uno de los servicios de awareness propuestos fue implementado y validado mediante un caso de estudio que demostró las ventajas que trae la utilización de este tipo de mecanismos sensibles al contexto en entornos virtuales de aprendizaje.

Palabras clave: *Ubicuidad, Ambientes virtuales de aprendizaje, Sistemas de recomendación de recursos educativos, Servicios de awareness, Sistemas multi-agente, Dispositivos móviles.*

Abstract

Most of the current virtual learning environments do not present personalized features regarding educational contents, i.e., they do not consider the students' needs and preferences thus generating selflessness in users and significantly slows down their learning process. Another evident failure in this kind of systems is the inability to provide services enabling students to take control of learning activities such as reception of immediate alerts associated with the completion of tasks, activation of new learning activities, recommendation of student's assistants, etc. The aim of this paper is to develop a context-awareness services mechanism in order to guide and raise awareness of students about their performance, by presenting them in real time a follow up of the activities regarding their teaching-learning process while using the virtual learning environment. It should be noted that this mechanism is integrated into a student-centered multi-agent system that provides instructional planning and educational resource recommendation. The methodologies used in this research are Prometheus, for the construction of the ubiquitous and context-aware multi-agent system, and Methontology, for the development of the ontology that involves both adaptive virtual course domain knowledge and user's profile knowledge. Each of the proposed awareness services was implemented and validated through a case study that demonstrated the advantages in using this kind of context-aware mechanisms in virtual learning environments.

Keywords: *Ubiquity, Virtual learning environments, Learning resources recommender systems, Awareness services, Multi-agentsystems, Mobile devices.*

1. Introducción

La mayoría de los métodos de enseñanza-aprendizaje empleados actualmente no son personalizados, es decir, no están orientados a las necesidades, gustos y estilos de aprendizaje de cada uno de los estudiantes lo que genera desinterés por parte de estos y retrasa notoriamente el proceso de aprendizaje. Estas problemáticas evocan el planteamiento de nuevos mecanismos de enseñanza-aprendizaje que estén más orientados al entorno virtual en el que los estudiantes se desenvuelven, como es el caso de los cursos virtuales adaptativos, donde se busca el seguimiento personalizado y sobretodo la creación de conciencia en ellos sobre su desempeño en el proceso de aprendizaje.

El objetivo de este artículo es incorporar servicios de awareness a un

sistema multi-agente ubicuo de planificación instruccional y recomendación de recursos educativos desde repositorios locales y remotos, teniendo en cuenta las preferencias, necesidades y falencias de los estudiantes durante su proceso de enseñanza-aprendizaje. La utilización de servicios de awareness pretende sensibilizar a los estudiantes sobre su desempeño, paso a paso, en su proceso de enseñanza-aprendizaje mientras utiliza un entorno de aprendizaje virtual. En efecto, el hecho de mantener la información actualizada referente a lo que el estudiante está haciendo le ayuda a mejorar sus actuaciones y por ende el desarrollo de su proceso de aprendizaje.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: mientras la sección 2 presenta el marco conceptual asociado a esta investigación, la sección 3 examina algunos trabajos de investigación afines a este, contrastando las ventajas y desventajas de cada uno. La sección 4 describe el modelo propuesto, detallando las principales fases en el desarrollo de la metodología de sistemas multi-agente Prometheus. La sección 5 proporciona la implementación del prototipo que integra los servicios de awareness y entonces se lleva a cabo el análisis de los resultados sobre las pruebas iniciales realizadas. Finalmente, en la sección 6 se presentan las conclusiones obtenidas y el trabajo futuro propuesto.

2. Marco Conceptual

A continuación se presentan los conceptos más relevantes relacionados con la investigación que soportan el modelo multi-agente ubicuo propuesto para recomendación de recursos educativos basado en servicios de awareness y dispositivos móviles.

El objetivo de la computación ubicua y los dispositivos móviles es ayudar al usuario en el cumplimiento de sus tareas cotidianas sin atentar a su privacidad y ofrecer interfaces de interacción hombre-máquina que sean amigables y fáciles de utilizar [1]. La computación ubicua debe exhibir de igual manera características de proactividad y adaptatividad de acuerdo al contexto en el cual se desenvuelve el usuario. Es importante señalar que la creación de sistemas ubicuos inteligentes brinda herramientas para el desarrollo de sistemas de recomendación personalizados enfocados a dispositivos móviles [2][3], dando paso a un nuevo paradigma en donde los usuarios cuentan con una gran gama de interfaces y dispositivos para comunicarse con los sistemas de información en donde el contexto del usuario juega un papel sumamente importante. Para ello se está haciendo uso de tecnologías y enfoques novedosos como agentes de software inteligentes, dispositivos inalámbricos, buscadores de información adaptativos y personalizados con el fin de crear modelos de recomendación computarizados.

El concepto de awareness (consciencia), el cual es algo inherente al ser humano cuando realiza alguna actividad de aprendizaje llega a convertirse en una parte central para el seguimiento de las actividades en ambientes virtuales de aprendizaje. A través del awareness, los individuos se dan cuenta de los cambios causados en el ambiente de aprendizaje por la acción de su actividad en la ejecución de tareas de aprendizaje, así como, al momento de evaluar sus conocimientos adquiridos a través del sistema computarizado y de esta forma le facilita al estudiante el poder dirigir sus actitudes y adquirir nueva información [4]. El awareness brindado en ambientes virtuales de aprendizaje permite a los aprendices a generar un contexto de su propia actividad es decir a mantener la información actualizada referente a lo que está haciendo y de esta forma le ayuda a mejorar su desempeño y por ende el desarrollo de su proceso de aprendizaje.

Los servicios de awareness también se han utilizado en ambientes colaborativos de aprendizaje ya que si dos aprendices están utilizando esquemas distribuidos de trabajo colaborativo apoyado por computador, ellos no podrán verse, escucharse, ni sentir la presencia y acciones de los demás. En este tipo de ambientes, donde las actividades colaborativamente orientadas son mediadas por varias formas de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), estas habilidades son bastante limitadas. El awareness se ha convertido de esta forma en un factor preponderante en el diseño de sistemas computacionales, con el fin de reducir los esfuerzos meta-cognitivos que se necesitan para poder colaborar en ambientes computarizados distribuidos [5]. Gaver resalta la importancia de proveer información de awareness para ayudar a las personas a cambiar el rol de trabajar individualmente a trabajar en grupo [6]. Por ejemplo, Dourish&Bellotti [7] aplican este aspecto a ambientes compartidos y definen awareness como un entendimiento compartido de las actividades de los demás, que proporcionan un contexto para la propia actividad.

Los Cursos Virtuales Adaptativos (CVA) son herramientas computacionales capaces de guiar al alumno a lo largo de un dominio particular del conocimiento, resolviendo durante el proceso tareas tales como la elaboración de una estrategia de planificación de actividades de aprendizaje, adaptación de contenidos educacionales y evaluación de su desempeño durante el desarrollo de un curso virtual [8]. Cabe señalar que los recursos educativos más utilizados en la actualidad en el marco de los CVA son los Objetos de Aprendizaje (OA), que se definen como entidades auto descritas mediante metadatos bien definidos cuyo principal objetivo es permitir su almacenaje y recuperación por tantos usuarios como sea posible [9]. De igual manera los metadatos reflejan la finalidad para la cual fue creada el objeto y hacia qué población o dominio está enfocado. Con el objetivo de estandarizar los esquemas de representación de metadatos de OA se han desarrollado numerosos trabajos, uno de los más reconocidos es el estándar IEEE-LOM [10] el cual fue utilizado para el desarrollo de esta investigación.

Según Tim Berners-Lee [11] “La web semántica es una extensión de la web actual en donde la información tiene un significado bien definido, es más entendible por los computadores y en donde las personas pueden trabajar cooperativa y colaborativamente”. A partir de este nuevo paradigma, las ontologías aparecen como la vía para representar el conocimiento de la Web de forma que se haga legible y reutilizable por los computadores [12]. “Una ontología es el resultado de seleccionar un dominio y aplicar sobre el mismo un método para obtener una representación formal de los conceptos que contiene y las relaciones que existen entre estos” [13]. Existen diferentes lenguajes para representar ontologías, el más utilizado es OWL [14], el objetivo principal de este lenguaje es el procesamiento automático de información por parte de las aplicaciones en la web, en vez de que sea procesada con intervención humana como se realiza en la Web tradicional. Para el desarrollo de ontologías existen numerosas metodologías, las cuales ofrecen una serie de herramientas que permiten representar el conocimiento iterativamente y contar con una documentación amplia a través de la cual se pueda migrar, reutilizar o extender las ontologías previamente creadas. Una de las metodologías más reconocidas y utilizadas actualmente es Methontology [15], la cual define un proceso de desarrollo iterativo que consta de cinco fases, permitiendo el desarrollo de ontologías a nivel de conocimiento (ver Fig. 1).



Fig. 1. Proceso de desarrollo Methontology. Adaptado de [16].

Los sistemas multi-agente (SMA) provenientes de la inteligencia artificial distribuida, se definen como sistemas complejos constituidos por agentes autónomos con conocimientos específicos en un dominio, capaces de interactuar para realizar tareas orientadas a la consecución de un objetivo común [17][18]. Otra de las características de este tipo de sistemas es la facilidad de adquisición y procesamiento de información que se encuentra altamente distribuida, lo que se complementa perfectamente con la computación ubicua y los dispositivos móviles. Los agentes móviles por su parte [19] son procesos capaces de moverse a través de una red informática, ya sea LAN (*Local Area Network*) o WAN (*Wide Area Network*), migrando o clonando su código y estado de una máquina a otra. Interactuando con dispositivos extraños, recopilando información para luego volver a su origen con los datos obtenidos. En efecto, es mucho más eficiente que un agente se movilice hasta una ubicación remota y haga una búsqueda, a traer toda la información para luego ser procesada y filtrada.

3. Trabajos Relacionados

A continuación se presentan los trabajos desarrollados más relevantes sobre las temáticas afines a esta investigación.

Ovalle et al. [4] utilizan servicios de awareness para apoyar actividades colaborativas en el aula de clase asistido por el sistema de gestión de conocimiento KnowCat, construido en la Universidad Autónoma de Madrid. Los servicios de *awareness* propuestos en esta investigación son: (1) estudiantes registrados, que permite conocer la lista del perfil de estudiantes registrados en el sistema y una lista parcial de las últimas acciones que ha realizado el estudiante sobre la plataforma; (2) estudiantes en línea, el cual suministra el perfil del estudiante y la posición donde se encuentra en el árbol de conocimientos habilitando su acceso al recurso que visualiza; (3) vista radar, que permite conocer de forma rápida y efectiva cómo están distribuidos los estudiantes en línea sobre los temas del árbol de conocimiento; (4) vista histórica, la cual utiliza una representación gráfica basada en íconos para señalar, a través de una línea de tiempo, todas las acciones que ha realizado un estudiante; (5) participómetro, el cual suministra una vista estadística de la participación de los estudiantes en las distintas actividades del sistema. Para ello se utiliza una tabla donde se ordenan los distintos estudiantes en función de su participación en las actividades. El nombre de cada estudiante es a su vez un enlace al servicio de vista histórica con el cual podría detallarse cada elemento de la participación. (6) gráfico de anotaciones, que despliega en forma de grafo cómo se ha llevado a cabo el proceso de comunicación entre estudiantes, desde una vista resumida o detallada. El arco que acompaña al grafo indica cuántas intervenciones realiza un estudiante a otro mostrando explícitamente cada anotación.

Un ambiente de aprendizaje sensible al contexto fue desarrollado por Hwang et al., [20] para guiar a los investigadores novatos por medio de prácticas presenciales en procesos de difracción de rayos X en monocristal. El dominio de aplicación de esta investigación corresponde a experimentos científicos y por lo tanto, cuando un estudiante entra a un laboratorio y se encuentra en frente a un instrumento, los sensores son capaces de detectar la ubicación del estudiante y de esta forma transfieren la información al servidor. Mediante el análisis en tiempo real de los contextos ambientales/personales, el perfil y el portafolio en línea de los estudiantes, el sistema de aprendizaje es capaz de orientar a los estudiantes a desenvolverse en el mundo real mostrándoles la información relevante en el momento oportuno, los procesos a aplicar, las normas que rigen en el laboratorio y los procedimientos de manejo de emergencias. Los resultados experimentales mostraron los beneficios de aplicar el enfoque de aprendizaje ubicuo y sensible al contexto en

ciencias, así como el ahorro de mano de obra para asistir y monitorear a los estudiantes. También este sistema innovador puede ser aplicado a los experimentos de otras ciencias como química o biotecnología, destinado a egresados en ciencias, estudiantes de doctorado en las universidades e incluso para trabajadores de institutos de investigación. Otro trabajo afín a este es el propuesto por Wang et al. [21] el cual incorpora tecnologías de sensibilidad al contexto y sistemas de recomendación basados en filtrado colaborativo para el desarrollo de cursos estandarizados y adaptativos.

CAULS es un sistema de aprendizaje ubicuo y sensible al contexto basado en tecnología de RFID, sensores inalámbricos, dispositivos portátiles embebidos y tecnologías de bases de datos propuesto en [22] para detectar y examinar los comportamientos de los estudiantes en un museo en Taiwan. CAULS considera tres módulos: el primer módulo proporciona acceso ubicuo entre los estudiantes y los contenidos del curso. El segundo es el módulo de administración de materiales de enseñanza, el cual asocia los recursos educativos a los objetivos de aprendizaje y mapea el conocimiento de expertos. Posteriormente, en este mismo módulo, se mide la dificultad de los contenidos a partir de exámenes realizados a los estudiantes. El tercero y último es el módulo de exámenes y evaluación, el cual considera el diseño de los exámenes por parte de los expertos y genera un banco de preguntas.

Primo et al. [23] analizan el uso de técnicas de la Web semántica para la recomendación de OA. A partir de la exploración de dichas técnicas se propone un modelo basado en ontologías para la representación de metadatos. El conocimiento plasmado en la ontología es almacenado en un archivo OWL, lo cual le otorga características de interoperabilidad. Este trabajo considera principalmente el estándar brasileño de metadatos OBAA (Objetos de Aprendizagem Baseados em Agentes) para OA el cual es una extensión del estándar IEEE-LOM enfocado a la interoperabilidad entre plataformas digitales tales como TV digital, plataformas Web y dispositivos móviles. Tramullas et al. [24] presentan un modelo ontológico para la descripción de OA bajo el estándar IEEE-LOM. La ontología fue denominada LOM2OWL y es almacenada en un archivo OWL. El objetivo de este trabajo es mejorar la búsqueda, reutilización y uso de OA, tanto si estos están organizados dentro de un repositorio específico, como si se trata de recursos dispersos en la Web.

Teniendo en cuenta los trabajos revisados anteriormente, una de las mejoras que se proponen en este artículo a los modelos actuales de computación ubicua y modelos ontológicos para enseñanza-aprendizaje, es la integración de servicios de awarenessen asociado con la recomendación de recursos personalizados. Estas características de sensibilidad al contexto y alertas en los ambientes de aprendizaje permiten a los estudiantes ser conscientes del contexto de su propia actividad así como la posibilidad de

interactuar con recursos educativos personalizados. De esta forma le brinda al estudiante la posibilidad de mantener la información actualizada referente a lo que está haciendo y de esta forma le ayuda a mejorar sus actuaciones y el desarrollo de su proceso de aprendizaje.

4. Modelo Propuesto

Esta sección presenta el desarrollo de dos módulos que integran el modelo propuesto, uno para ofrecer servicios de awareness y el otro para brindar recomendación de recursos educativos buscando así extender un entorno virtual basado en SMA de planificación de CVA. A continuación se presentan algunos apartes del proceso de desarrollo del SMA, la estructura del modelo ontológico utilizado y los servicios de awareness que ofrece el SMA.

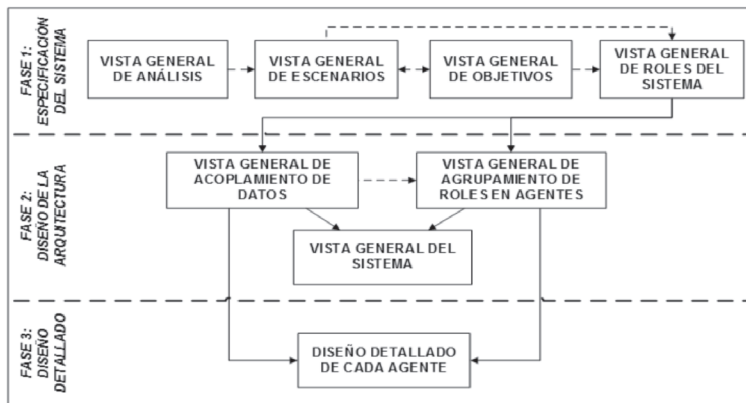


Fig. 2. Fases de la metodología Prometheus, traducido y adaptado de [25].

4.1 Arquitectura Multi-Agente Ubicua

Para el diseño del SMA se utilizó la metodología Prometheus [25], la cual permite el desarrollo de sistemas inteligentes a partir de un esquema práctico, completo y detallado. Adicionalmente, Prometheus ofrece herramientas necesarias para definir y desarrollar agentes a partir de objetivos y planes que permiten describir agentes robustos y flexibles al mismo tiempo [26]. Como se puede observar en la Fig. 2, Prometheus considera tres fases de especificación y diseño las cuales fueron consideradas para el desarrollo de este SMA. Inicialmente se presenta una fase de especificación (Fase 1), posteriormente una fase de diseño de la arquitectura (Fase 2) y finalmente una fase de diseño detallado del sistema (Fase 3).

- **Fase 1: Especificación del sistema.** Esta fase incluye una vista general del sistema, la especificación de objetivos, actores, roles y

escenarios de casos de uso. De igual manera las interfaces del sistema se describen a partir de acciones, percepciones y fuentes de datos externas al sistema. Durante esta fase se elaboró el escenario de oferta de servicios de awareness, el cual especifica las interfaces de comunicación y los protocolos necesarios para publicar servicios dentro de la plataforma multi-agente.

Los actores comprenden todas las personas o sistemas externos que están asociados con el SMA. A partir de esto, fueron identificados tres actores: el estudiante, el profesor y el sistema BROA [27] utilizado para la recuperación y recomendación de OA. De igual manera se identificaron las funcionalidades del sistema a partir de los objetivos identificados en la vista general de objetivos; dichas funcionalidades fueron modeladas a partir de roles en Prometheus. Los principales roles identificados fueron: Planificar CVA, ofrecer servicios de awareness, evaluar temáticas, recomendar asistentes y recomendar recursos educativos.

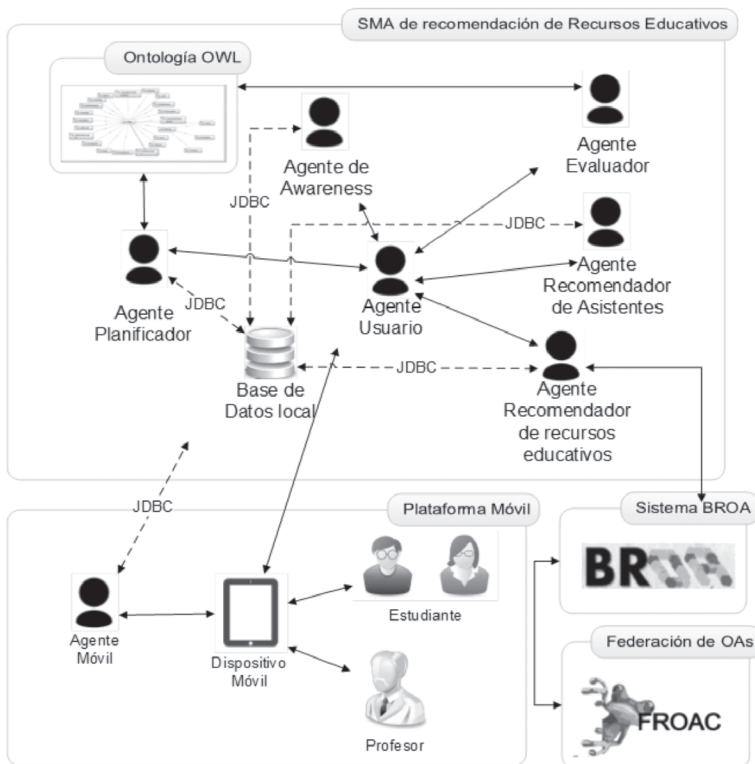


Fig. 3. Vista general de la arquitectura del sistema utilizando la metodología Prometheus.

- **Fase 2: Diseño de la arquitectura.** El propósito de esta fase es mapear los roles identificados en la fase previa en agentes y definir las interacciones entre los agentes del sistema a través de mensajes y protocolos de comunicación. Los agentes y las interacciones definidos para el sistema son presentados en la Fig. 3. Como resultado de esta fase se obtuvo una topología altamente distribuida a partir de agentes interconectados. En el contenedor de agentes central se encuentra el servidor en el cual se despliega la plataforma multi-agente, el sistema BROA [27] fue considerado como un componente ajeno al sistema el cual ofrece servicios de recuperación, recomendación y filtrado de OA, y finalmente los demás componentes comprenden contenedores secundarios que obedecen a cada dispositivo móvil conectado a la plataforma. De acuerdo a los requisitos y objetivos del sistema fueron considerados siete tipos de agentes, intercomunicados sin jerarquía alguna y con objetivos comunes por alcanzar. Es importante resaltar que cada uno de estos siete agentes fueron desarrollados desde la fase inicial del sistema. A continuación se describe brevemente cada uno de los agentes y las interacciones entre ellos:
 - ✓ **Agente planificador CVA:** Este agente se encarga de la planificación automática de CVA, para esto interactúa con el agente recomendador de recursos educativos con el fin de recuperar OA referentes a las temáticas de los cursos. Posteriormente se recupera el perfil de estudiante almacenado en la base de datos del sistema, y luego se mapea toda esta información en la ontología de descripción semántica del conocimiento asociado a los CVA.
 - ✓ **Agente evaluador:** Se encarga de la generación automática de evaluaciones en el momento en que el usuario concluye un tema, o desea exonerarse del mismo. Las preguntas son seleccionadas de un banco de preguntas previamente constituido y asociado a cada uno de los temas de los CVA. De acuerdo a la estructura de evaluación propuesto en [28] por cada pregunta hay una o varias respuestas y son validadas a través de un campo bivaluado (1 si la respuesta es correcta y 0 si es incorrecta). Otro de los parámetros más importantes es el tiempo medio de respuesta necesario para que el estudiante pueda responder a la pregunta y el tipo de pregunta que describe si la pregunta es de respuesta múltiple, única elección, verdadero-falso, etc.
 - ✓ **Agente recomendador de asistentes:** Este agente tiene como objetivo encontrar y recomendar asistentes para los estudiantes que presentan falencias en las temáticas asociadas a los CVA o que solicitan asesorías; para llevar a cabo este

objetivo, el agente debe conocer las áreas del conocimiento requeridas para la asesoría del estudiante, así como los horarios tanto del estudiante como del asistente.

- ✓ **Agente recomendador de recursos educativos:** El objetivo principal de este agente es recomendar recursos educativos, tales como OA, libros, expertos, conferencias y seminarios. Para la recomendación de OA, este agente consume el servicio expuesto por el sistema BROA, el cual recibe el perfil del estudiante y los parámetros de búsqueda, retornando un listado de OA personalizado recopilados de diferentes repositorios. Para la recomendación de los demás recursos hace uso de la base de datos local del sistema, en la cual se almacena información referente a libros, expertos, conferencias y seminarios.
- ✓ **Agente de awareness:** Está encargado de ofrecer los diferentes servicios de awareness que ofrece el sistema, bien sea por solicitud de los usuarios o por efectos de proactividad, ofreciendo información de utilidad como el participómetro (nivel de participación de un estudiante dentro de las diferentes temáticas del CVA), grafo de avance (vista general del estado del estudiante dentro del curso y las temáticas que el estudiante tiene pendientes), grafo de interacción asistente-estudiante, vista histórica de las actividades de aprendizaje, así como alarmas y recordatorios.
- ✓ **Agente usuario:** Es el agente encargado de representar tanto a estudiantes como a profesores dentro de la plataforma multi-agente, es decir, se encarga de administrar el perfil del usuario, permitiendo la creación y modificación de las características y sus preferencias. De igual manera, este agente se encarga de la administración de los canales de comunicación con el dispositivo móvil del usuario, jugando el rol de interfaz entre el SMA y los usuarios. Finalmente se encarga de solicitar servicios y recibir información de utilidad para posteriormente presentarla al usuario.
- ✓ **Agente móvil:** La labor principal de este agente es la de recopilar el perfil del estudiante y las características del contexto del estudiante, para posteriormente almacenarlos en la base de datos del sistema. Esto obliga a utilizar la tipología de agente móvil; y obtener la información de las características del dispositivo móvil con el fin de adaptar de mejor manera la información a las especificaciones del dispositivo del estudiante.

Es importante aclarar las numerosas ventajas que adquiere el sistema por estar basado en una arquitectura de agentes inteligentes móviles:

- ✓ Los agentes móviles permiten recopilar información altamente distribuida y centralizarla, con el fin de que sea procesada simultáneamente. Esta es una característica muy importante a tener en cuenta para el sistema, debido a que los perfiles y la información contextual de los usuarios está contenida en sus dispositivos móviles, los cuales tienen capacidad limitada de procesamiento para llevar a cabo inferencias ontológicas. Es por esto que los agentes móviles recopilan dicha información y la centralizan en el servidor para posteriormente ser procesada y mapeada en la ontología.
 - ✓ Los agentes inteligentes tienen la capacidad de tomar decisiones y de inferir conocimiento de manera autónoma, esto permite al sistema realizar inferencias para la recomendación de asistentes o de recursos educativos, a partir de la información mapeada en la ontología.
- **Fase 3: Diseño detallado.** Durante esta fase se especifica la arquitectura interna de cada agente que propone la metodología Prometheus basada en los siguientes componentes: percepciones, acciones, planes, capacidades y acceso a fuentes de información. Para el razonamiento de los agentes se utilizaron inferencias a partir de la ontología propuesta para el SMA ubicuo la cual se describe detalladamente en el siguiente aparte.

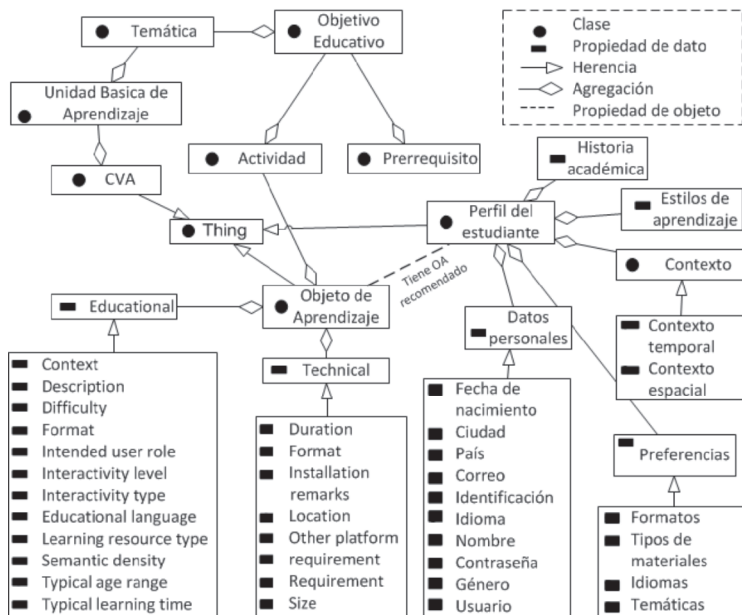


Fig. 4. Modelo ontológico propuesto.

4.2 Modelo Ontológico del Perfil del Estudiante y su Contexto

Para la representación del conocimiento referente al perfil del estudiante, el contexto y las características del dispositivo móvil, la estructura de los CVA y los asistentes asociados a estos, fueron considerados tres frentes: primero el mapeo del estándar IEEE LOM, considerando dos de las categorías utilizadas para describir los OA, las cardinalidades y las relaciones presentes entre estas. Segundo, se extendió el modelo propuesto por Arias [29] para representar la estructura de los CVA. Este modelo permite abstraer las características de un CVA y unirlas con la representación del estándar LOM previamente establecido a partir de la entidad Objeto_Aprendizaje. Finalmente, se consideraron características que permiten definir el perfil del estudiante y su contexto, a partir de preferencias, gustos y limitaciones. Las características consideradas que representan al estudiante son las siguientes: datos personales, preferencias, contexto espacial y contexto temporal. Los componentes identificados para los tres frentes son presentados detalladamente en la Fig. 4. Con base en esta estructura, se decidió definir una ontología que permitiera no solo representar dicho conocimiento sino también realizar inferencias a partir de una estructura estandarizada, portable y extensible. Para el desarrollo y la implementación de la ontología se utilizó Methontology [30] la cual comprende un proceso de desarrollo iterativo y permite el desarrollo de ontologías de conocimiento.

El proceso de inferencia realizado a partir de la ontología consideró reglas de producción utilizando lenguaje SWRL. La Tabla 1 presenta una de las reglas de recomendación de recursos educativos, de manera análoga se representaron las demás reglas para la recomendación de recursos educativos y de asistentes, las cuales consideraron características del contexto tanto temporal como espacial.

Regla de recomendación de recursos educativos
$\begin{aligned} & \text{LOM}(?x) \wedge \\ & \text{hasTechnical}(?x,?y) \wedge \\ & \text{duration}(?y,?z) \wedge \\ & \text{duraciónDelAprendizaje}(\text{PerfilEstudiante1},?w) \wedge \\ & \text{swrlb:lessThanOrEqual}(?w,?z) \wedge \\ & \text{format}(?x,?a) \wedge \\ & \text{formatosPreferidos}(\text{PerfilEstudiante1},?a) \\ & \rightarrow \text{ContenidoSeleccionado}(?x) \end{aligned}$

Tabla 1. Algoritmo basado en reglas de producción para los procesos de recomendación.

4.3 Servicios de Awareness

Este módulo comprende una serie de servicios que permiten tanto al estudiante como al profesor tener conciencia del estado en el cual se encuentra dentro del CVA, lo que permite potenciar el interés por parte de estos y acompañar los procesos de enseñanza-aprendizaje. El módulo de awareness desarrollado implementa una serie de funcionalidades que buscan crear consciencia entre los estudiantes del progreso propio y al mismo tiempo permite el seguimiento de las actividades del CVA por parte del profesor. A continuación se describe cada uno de los servicios considerados:

- **Participómetro.** Es una vista estadística que permite identificar el nivel de participación de un estudiante dentro de las diferentes temáticas del CVA, teniendo así una métrica del nivel de actividad asociado a los OA.
- **Grafo de avance en el CVA.** Presenta una vista general del estado del estudiante dentro del curso y las temáticas que el estudiante tiene pendientes, manteniendo así informado al profesor del estado de avance y de las dificultades que se presentan en el proceso de aprendizaje.
- **Grafo de interacción Asistente-Estudiante.** Permite conocer si el estudiante ha recibido asesorías por parte de los asistentes, además permite detectar quienes son los asistentes más citados por los estudiantes.
- **Vista histórica de las actividades.** Presenta tanto al profesor como al estudiante un histórico de las actividades recientes que se han realizado dentro de un CVA, así el profesor tiene la capacidad de monitorear el proceso de aprendizaje de los estudiantes continuamente.
- **Alarmas.** Este servicio presenta características de proactividad ya que está encargado de generar alarmas de caducidad en las actividades asociadas a un CVA sin que el usuario lo solicite previamente; esto permite generar un estado de conciencia en los estudiantes de las actividades que debe realizar y evita la deserción de los CVA.
- **Asistentes en línea.** Presenta los asistentes asociados a cada CVA que se encuentran en línea. Adicionalmente, presenta los datos de contacto y las características de cada asistente tales como áreas del conocimiento, calificaciones previas, cercanía y disponibilidad. Como funcionalidad adicional el sistema permite contactar el asistente y conocer los horarios de disponibilidad de este en tiempo real.
- **Recursos accedidos.** Permite conocer los recursos educativos que el SMA ha recomendado al estudiante y cuáles han sido accedidos por este.

- **Comunidad de práctica:** La comunidad de práctica es un espacio que permite compartir ideas y recursos con otros estudiantes con respecto al CVA. La idea de la comunidad es que tanto profesores como estudiantes puedan proponer temas de discusión relacionadas con las temáticas que maneja el CVA, con el fin de generar retroalimentación por parte de otros estudiantes.
- **Muro de lluvia de ideas:** Es un espacio que permite el desarrollo de nuevas ideas asociadas con el dominio específico del CVA por parte de los estudiantes.

5. Implementación y Resultados

El sistema fue implementado usando el Framework JADE [31][32] el cual está orientado al desarrollo de SMA siguiendo los estándares definidos por FIPA (Foundation for Intelligent Agents) de la IEEE. Esto otorga interoperabilidad a la plataforma, debido a que se utilizan los mismos protocolos de comunicación e intercambio de mensajes. Respecto a la conexión de la plataforma con los dispositivos móviles de los usuarios fue necesario utilizar la plataforma Android, la cual permite la integración de los dispositivos móviles con el contenedor principal de JADE alojado en el servidor. Otra ventaja importante que otorga JADE es el desarrollo bajo un lenguaje estandarizado como JAVA; esto permitió la fácil integración del SMA con la ontología desarrollada utilizando el Framework JENA bajo la tecnología JAVA también. Cabe señalar que la plataforma que da soporte a los CVA es propia y está desarrollada dentro del mismo servidor donde se despliega el SMA, contando con acceso a una base de datos relacional desplegada en MySQL que contiene toda la información a los CVA.

Con el objetivo de validar el modelo propuesto, fue planteado un caso de estudio que permitiera evidenciar el comportamiento de cada uno de los servicios de awareness propuestos. Para esto se seleccionó un estudiante y se recuperaron características de su perfil.



Fig. 5. Servicios de awareness (participómetro, recomendación de asistentes y recursos accedidos).

La Fig. 5 presenta tres servicios de awareness, el primero consiste en el participómetro el cual muestra el porcentaje de interacción que el estudiante ha tenido con las diferentes temáticas asociadas al curso, permitiendo así evidenciar el interés por parte del estudiante dentro del CVA.

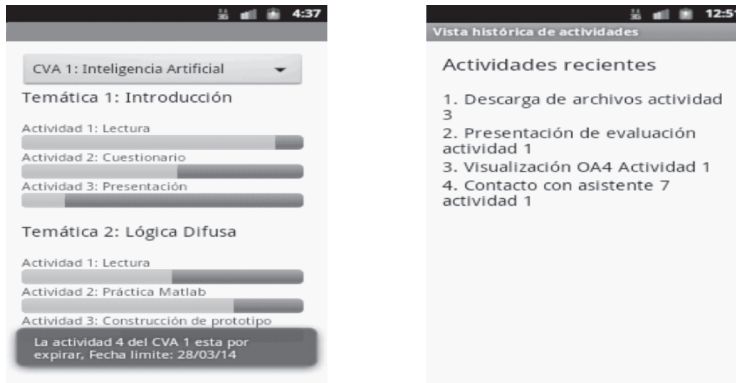


Fig. 6. Servicios de awareness (grafo de avance y vista histórica de actividades).

El segundo servicio de la Fig. 5 presenta la interfaz de recomendación de asistentes especializados en las temáticas del curso; este servicio permite visualizar la disponibilidad y la ubicación de los asistentes en tiempo real (considerando el contexto espacial y temporal consignado en la ontología) y adicionalmente permite contactar al asistente a través del correo o vía chat. Es importante aclarar que este servicio puede ser solicitado por el estudiante o puede ser desplegado proactivamente según las deficiencias que el MAS evidencie en el avance del proceso de aprendizaje del estudiante. El tercer servicio permite ver el historial de recursos que el sistema ha presentado al estudiante por actividades asociadas a las temáticas, los recursos que aparecen en color verde son recursos recomendados por el SMA y que el estudiante realizó, mientras que los recursos presentados en rojo son recomendaciones del SMA que el estudiante decidió no acceder.

De los servicios presentados en la fig. 6, el primero hace referencia al grafo de avance del estudiante en el curso. En este grafo tanto el estudiante como el profesor tienen la capacidad de visualizar el nivel de avance del estudiante dentro del CVA, el porcentaje de avance es presentado a nivel de las actividades de las temáticas. En esta interfaz se puede observar también el servicio de alarmas, el cual permite al estudiante estar informado de las actividades que se acercan o que están por expirar. El segundo servicio presenta la vista histórica de actividades, la cual presenta una lista de las actividades recientes que el estudiante ha realizado dentro del CVA.

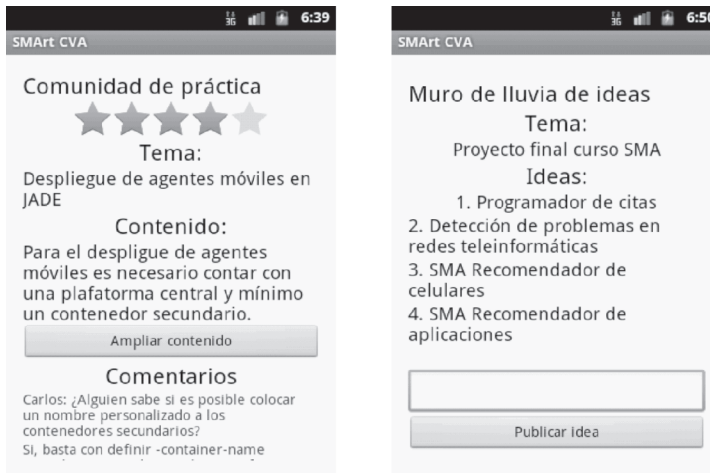
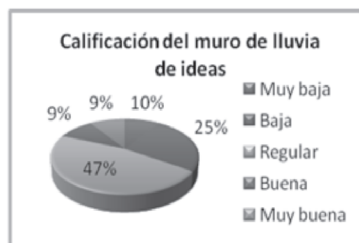
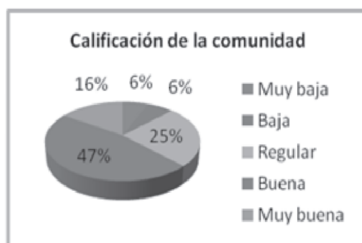
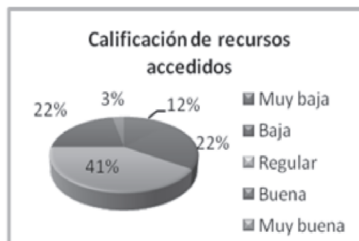
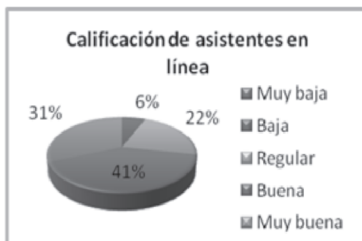
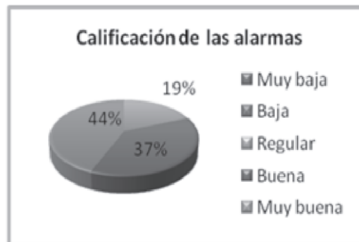
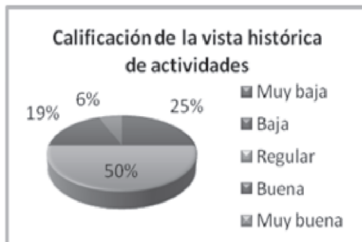
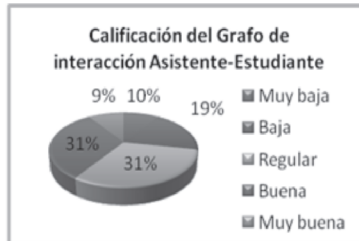
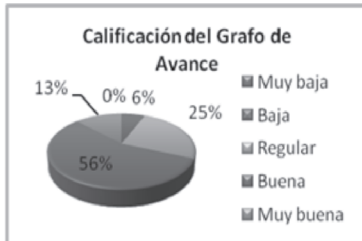
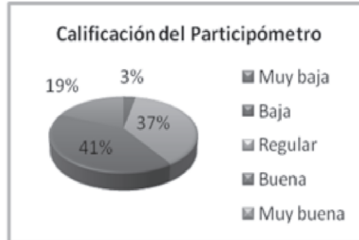


Fig. 7. Servicios de awareness (comunidad de práctica y muro de lluvia de ideas).

La Fig. 7 presenta los dos últimos servicios, el primero hace referencia a la comunidad de práctica, la cual permite al estudiante publicar temas de interés relacionados con el CVA. Estos temas pueden ser visualizados, calificados y comentados por otros estudiantes, generando así una retroalimentación continua y fortaleciendo los conocimientos. El segundo servicio presenta el muro de lluvia de ideas, el cual permite al estudiante publicar ideas relacionadas con un tema específico; en esta interfaz se puede observar como el estudiante construyó un espacio para publicar ideas relacionadas con el proyecto final del CVA y como los demás estudiantes publicaron sus ideas referentes a este tópico.

Para la validación de los servicios de awareness se diseñó y aplicó una encuesta realizada posteriormente a la interacción de los estudiantes con el SMA ubicuo, que permitiera indagar sobre la percepción del usuario respecto a los servicios presentados. Dicha encuesta se llevó a cabo dentro del curso de Inteligencia Artificial del departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. Este curso contó con 32 estudiantes de pregrado, 27 de Ingeniería de Sistemas e Informática y 5 de Ingeniería de Control.

Los resultados de la aplicación de la prueba se presentan en la Tabla 2, de la cual se puede concluir que los servicios ofrecidos por el SMA tuvieron un gran porcentaje de aceptación dentro de los estudiantes (91%), que los servicios mejor calificados fueron: el grafo de avance (69%), el participómetro (60%), el servicio de alarmas (81%), la comunidad (63%) y la visualización de asistentes en línea (72%).



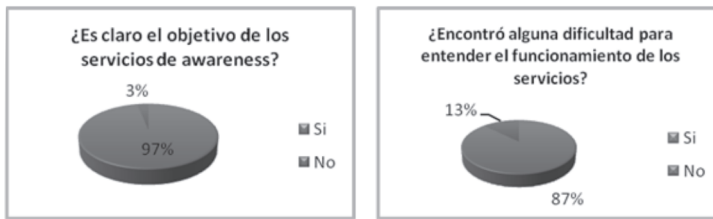


Tabla 2. Medición de la encuesta de percepción de los servicios de awareness.

6. Conclusiones y Trabajo Futuro

El desarrollo de un módulo de servicios de awareness dentro del SMA ubicuo de recomendación y planificación de CVA, evidencia aportes significativos principalmente en la interacción de los estudiantes con el sistema, ya que permite a estos tener conciencia de sus estados dentro del CVA y a los profesores conocer el interés mostrado por cada estudiante dentro del CVA. Adicionalmente, se evidenció que los servicios de awareness tuvieron gran aceptación dentro de la población encuestada. Finalmente, se evidencia que el objetivo de los servicios de awareness dentro del SMA es claro para los estudiantes, sin embargo, algunos servicios como: los recursos accedidos y la vista histórica de actividades parecen ser ambiguos y no son claros al momento de presentar la información.

Como trabajo futuro se espera mejorar y ampliar los servicios de awareness incorporados en el SMA, así como el desarrollo de un módulo de evaluación personalizada que permita evaluar al estudiante de acuerdo con sus gustos y preferencias. Adicionalmente, se busca mejorar algunos aspectos de la interfaz con el fin de que sea más interactiva y presente la información de manera más gráfica. De los servicios de awareness presentados, queda como trabajo futuro el implementar el grafo visual de interacción asistente-estudiantes ya que en el prototipo actual se encuentra descrito de manera textual, y esto dificulta en gran medida el entendimiento. Finalmente, se espera mejorar la experimentación de los diferentes módulos del SMA a partir de nuevos casos de estudio.

Agradecimientos

El trabajo de investigación presentado en este artículo fue financiado parcialmente por la beca de Jóvenes investigadores de COLCIENCIAS otorgada al ingeniero de Sistemas e Informática Oscar M. Salazar O., a través de la Convocatoria 617 de 2013 “Capítulo 1 Semilleros-Jóvenes

Investigadores”. Adicionalmente, recibió el apoyo del proyecto de COLCIENCIAS titulado: "RAIM: Implementación de un framework apoyado en tecnologías móviles y de realidad aumentada para entornos educativos ubicuos, adaptativos, accesibles e interactivos para todos" de la Universidad Nacional de Colombia, con código 1119-569-34172.

Referencias

- [1] D. P. Kinshuk, and D. S. Graf. Ubiquitous Learning, en *Encyclopedia of the Sciences of Learning*, P. D. N. M. Seel, Ed. pp. 3361-3363, Springer US, 2012.
- [2] K.Charitonos, C. Blake, E. Scanlon and Jones, A Museum learning via social and mobile technologies: (How) can online interactions enhance the visitor experience? *British Journal of Educational Technology*, Vol 43, No 5, pp. 802–819, 2012.
- [3] S. Gómez,P., Zervas, D. G., Sampson and Fabregat, R., Context-aware adaptive and personalized mobile learning delivery supported by UoLmP. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, Vol. 26, No. 1, pp. 47–61, 2014.
- [4] D. A. Ovalle, J. Jiménez, C. A. Collazos, I. D. Claros, W. L. Pantoja, R. Cobos, J. Moreno-Llorena, M. Pifarré, and E. Argelagos. Guía metodológica para el seguimiento y evaluación de aprendizaje colaborativo asistido por el sistema KNOWCAT. Memorias del Congreso de Facultades de Ingeniería de ACOFI – Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería, pp.1-9, 2009.
- [5] K. Palfreyman, and T. Rodden. A Protocol for Users Awareness on the World Wide Web. Proceedings of CSCW'96, pp.130-139, USA, 1996.
- [6] W. Gaver. Sound Support for Collaboration. Proceedings of the ESCW'91, pp. 293-308, 1991.
- [7] P.Dourish, and V.Bellotti. Awareness and Coordination in Shared Workspaces. Proc. ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW'92), Toronto, ACM Press, 1992.
- [8] N. Duque and D. Ovalle. Artificial intelligence planning techniques for adaptive virtual course construction. *Journal Dyna* ISSN: 0012-7353, Vol. 78, No. 170, pp.70-78, 2011.
- [9] P. Rajuand and P.Ahmed. Enabling technologies for developing next-generation learning object repository for construction.Automation in Construction, Vol. 22, pp. 247-257, 2012.
- [10] T. Primo, J.L.T. Silva, A.M. Ribeiro, R.M. Vicariand, E. Boff. Towards Ontological Profiles in Communities of Practice. *IEEE Multidisciplinary Engineering Education Magazine*, Vol. 7, pp. 13-22, 2012.

- [11] T.Berners-Lee, J.Hendler and O.Lassila. The Semantic Web. Scientific American 284(5), 28–37, 2001.
- [12] A.M. Feroso, M. A. Sicilia, and S. Sánchez. Una ontología en OWL para la representación semántica de objetos de aprendizaje, SPDECE, p. 9, 2008.
- [13] J. Tramullas, Agentes y ontologías para el tratamiento de información: clasificación y recuperación en Internet. IV Congreso ISKO España. Granada 22-24 Abril. pp.247-252, 2006.
- [14] OWL Web Ontology Language Overview ,2010); disponible en: <http://www.w3.org/TR/owl-features/>
- [15] Corcho, O., Fernandez, M., Gómez, A., & López, A. Building Legal Ontologies with METHONTOLOGY and WebODE. In Law and the Semantic Web (pp. 142–157). Springer Berlin Heidelberg, 2005.
- [16] Benjamins, V. R., Casanovas, P., Breuker, J., & Gangemi, A. (Eds.). Law and the Semantic Web (Vol. 3369). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005.
- [17] Y. Shoham and K.Leyton-Brown. Multi-agent systems: algorithmic, game-theoretic, and logical foundations. Cambridge University Press, 2008.
- [18] M.Wooldridge. An introduction to multi-agent systems. Second edition, Wiley Publishers. United Kingdom ,2009.
- [19] T. Liu and Z.Jiang. Distributed nonlinear control of mobile autonomous multi-agents. Automatica, ISSN: 0005-1098, ELSEVIER (in press) ,2014.
- [20] G. Hwang, T. C. Yang, Tsai and S. Yang. A context-aware ubiquitous learning environment for conducting complex science experiments. Computers & Education Journal, Vol. 53, pp.402–413, 2009.
- [21] Wang, S. y Wu, Ch., Application of context-aware and personalized recommendation to implement an adaptive ubiquitous learning system. Expert Systems with Applications Vol. 38, pp.10831–10838, 2011.
- [22] Chen, C.-C., & Huang, T.-C. Learning in a u-Museum: Developing a context- aware ubiquitous learning environment. Computers & Education, 59(3), 873–883, 2012.
- [23] T.Primo, A.Behr and R.M.Vicari. A Semantic Web Approach to Recommend Learning Objects», en Highlights on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems, J. M. Corchado, J. Bajo, J. Kozlak, P. Pawlewski, J. M., Molina, V. Julian, R., A., Silveira, R., Unland, y S. Giroux, Eds., pp. 340-350, Springer Berlin Heidelberg ,2013.
- [24] J.Tramullas, A.Sánchez-Casabón and P.Garrido-Picazo, An Evaluation based on the Digital Library user: An Experience with Greenstone

Software. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 73, pp. 167–174, 2013.

- [25] L. Padgham, J. Thangarajah and M. Winikoff. Tool support for agent development using the Prometheus methodology. In: Fifth international conference on quality software - QSIC 2005, p.383–388, 2005.
- [26] Á. Carrera, C.A. Iglesias, J. García-Algarra, and D. Kolařík. A real-life application of multi-agent systems for fault diagnosis in the provision of an Internet business service. *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 37, pp. 146–154, 2014.
- [27] P.A. Rodríguez, V. Tabares, N.D. Duque, D.A. Ovalle, R.M. Vicari. BROA: An agent-based model to recommend relevant Learning Objects from Repository Federations adapted to learner profile. *International Journal of Artificial Intelligence and Interactive Multimedia*, Vol. 2, N° 1, pp. 6-11, 2013.
- [28] J. Moreno, D. Ovalle and J. Jimenez. CIA: Framework for the creation and management of Adaptive Intelligent Courses. In *Proceedings of 9th World Conference on Computers in Education – WCCE*. Bento Gonçalves, Brazil, 2009.
- [29] F.J. Arias. Modelo multi-agente para la planificación instruccional y selección de contenidos en cursos virtuales adaptativos. Tesis de Maestría en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, 2009.
- [30] M. Fernández, A. Gómez and N. Juristo. METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering, en *Proceedings of the Ontological Engineering AAAI-97 Spring Symposium Series*, Stanford University, EEUU, p. 8, 1997.
- [31] R. Bordini, L. Braubach, M. Dastani, E.F. Seghrouchni, J. Gomez-Sanz, J. Leite, G. O'Hare, A. PokahrandA. Ricci. A Survey of Programming Languages and Platforms for Multi-Agent Systems *Informatica*, Vol. 30, No. 33, pp. 33–44, 2006.
- [32] F. Bellifemine, A. Poggi, and G. Rimassa, “JADE – A FIPA-compliant Agent Framework,” *Proc. PAAM*, 1999.