



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Modelo de Sistema Multi-Agente ubicuo, adaptativo y sensible al contexto para ofrecer recomendaciones personalizadas de recursos educativos basado en ontologías**

**Oscar Mauricio Salazar Ospina**

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión

Medellín, Colombia

2014



# **Modelo de Sistema Multi-Agente ubicuo, adaptativo y sensible al contexto para ofrecer recomendaciones personalizadas de recursos educativos basado en ontologías**

**Oscar Mauricio Salazar Ospina**

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Ingeniería de Sistemas**

Director (a):

**Ph.D. Demetrio Arturo Ovalle Carranza**

Línea de Investigación:

**Inteligencia Artificial**

Grupo de Investigación:

**Grupo de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial – GIDIA**

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión

Medellín, Colombia

2014



## *Dedicatoria*

*A mi familia que es el soporte para cumplir mis metas y mi incentivo para superar los obstáculos. En especial a mi madre quien con su amor, dedicación y entrega, nos convierte cada día en mejores personas.*



## Agradecimientos

Primero que todo quiero agradecer a Dios por colocar en mi camino a personas tan maravillosas que me han ayudado no solo en mi crecimiento profesional sino también personal.

Agradezco a mis padres por su entrega incondicional para ayudarme a lograr mis objetivos, a mis hermanas por sus consejos y por el cariño que me han brindado. A mi novia quien ha sido pieza fundamental para conseguir los objetivos que me he planteado, también por su paciencia y su compañía.

Mi total gratitud a mi director el profesor Demetrio Arturo Ovalle por su dedicación para orientarme durante el proceso, no solo de consecución de esta tesis sino también por el acompañamiento en todo mi proceso académico e investigativo.

Agradezco igualmente a COLCIENCIAS, entidad que financió parcialmente esta tesis a partir de la selección como joven investigador mediante la Convocatoria Nacional N° 617 de 2013. La cual apoya las actividades del proyecto de investigación "RA-737-COLCIENCIAS-modelo de sistema multiagente ubicuo, adaptativo y sensible al contexto para ofrecer recomendaciones personalizadas de recursos educativos en cursos virtuales adaptativos- jóvenes investigadores 2014" con código Quipu **202010013055**.

En general a todas las personas que de una u otra manera aportaron para conseguir este objetivo.

## Resumen

La gran diversidad de mecanismos de acceso a la información que nos brinda la tecnología móvil actual, hace que la computación tradicional se vea limitada ante las necesidades de los usuarios. A partir de esto surge la necesidad de desarrollar sistemas de e-learning que permitan obtener información adaptada de los perfiles del usuario, la cual sea confiable y recuperada en tiempo real de acuerdo a los requerimientos del entorno. El Sistema Multi-Agente (SMA) que se propone en esta tesis pretende incorporar las bondades de la computación ubicua y los servicios de awareness, con el fin de desarrollar un modelo de recomendación personalizada de recursos educativos para dispositivos móviles. Dicho modelo busca también proveer de información útil y personalizada a los estudiantes sobre la planificación de sus cursos virtuales (CVA), búsqueda y recuperación de objetos de aprendizaje (OA), recomendación de asistentes especializados, etc.

Esta tesis presenta el desarrollo de un SMA ubicuo denominado SMArt CVA, el cual se basa en agentes inteligentes los cuales utilizan mecanismos que permiten la búsqueda y recomendación de información a través de un módulo que adapta el resultado a las preferencias del estudiante. Adicionalmente se especificó, diseñó e implementó una ontología de dominio específico que representa el conocimiento referente a CVA, perfiles e información contextual de los usuarios y el estándar IEEE-LOM para metadatos de OA. Para validar el SMA, el cual exhibe características de proactividad, reactividad y deliberación, se realizó una fase de pruebas con varios casos de estudio, que evidencian la eficacia de utilizar este tipo de tecnologías en entornos de aprendizaje virtuales. Dicha validación considera varios frentes; a saber: (a) las recomendaciones de recursos educativos a partir de la ontología, (b) la satisfacción en la utilización de los servicios de awareness. (c) la funcionalidad de la aplicación móvil y (e) el desempeño general del SMA a partir de métricas cualitativas y cuantitativas.



**Palabras clave:** e-learning, ubicuidad, sistemas de recomendación de recursos educativos, sensibilidad al contexto, sistemas multi-agente, dispositivos móviles, ontologías.

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen.....</b>	<b>VIII</b>
<b>Lista de figuras .....</b>	<b>XII</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>XIV</b>
<b>1. Presentación de la tesis .....</b>	<b>15</b>
1.1    Introducción.....	15
1.2    Problemática .....	16
1.3    Pregunta emergente de investigación .....	17
1.4    Objetivo de la tesis .....	18
1.4.1    Objetivo general.....	18
1.4.2    Objetivos específicos .....	18
1.5    Alcance de la tesis .....	19
1.6    Metodología utilizada.....	19
1.7    Cumplimiento de los objetivos .....	23
1.8    Principales contribuciones logradas .....	24
1.9    Logros adicionales .....	25
1.10   Difusión de resultados .....	25
1.10.1   Artículos en revistas.....	25
1.10.2   Capítulos en libros de investigación.....	26
1.10.3   Ponencias en eventos nacionales e internacionales .....	26
1.10.4   Participación en proyectos de investigación.....	27
1.11   Organización del documento .....	28
<b>2. Marco Teórico .....</b>	<b>29</b>
2.1    e-learning y Sistemas de e-learning Adaptativos .....	29
2.2    Sistemas de Recomendación (SR).....	32
2.3    Perfiles de Usuario .....	32
2.4    Servicios de Awareness y Sistemas sensibles al contexto .....	32
2.5    Objetivos de Aprendizaje y Repositorios de Objetos de Aprendizaje .....	34
2.5.1    Estándares de Metadatos .....	35
2.6    Computación Ubicua y Dispositivos Móviles.....	38
2.7    Sistemas Multi-Agente.....	39
2.7.1    Metodologías para el desarrollo de SMA .....	40
2.7.2    Herramientas para la implementación de SMA .....	45

2.8	Web Semántica y Ontologías.....	46
2.9	Conclusiones del capítulo .....	47
<b>3.</b>	<b>Estado del arte.....</b>	<b>49</b>
3.1	Primer frente.....	49
3.2	Síntesis primer frente.....	59
3.3	Segundo frente .....	60
	Síntesis segundo frente.....	64
3.4	Conclusiones del capítulo .....	64
<b>4.</b>	<b>Modelo Propuesto .....</b>	<b>67</b>
4.1	Caracterización de conceptos asociados al sistema de u-learning.....	67
4.1.1	Modelo para la representación de CVAs y de recursos educativos .....	67
4.1.2	Modelo para la representación de los usuarios .....	70
4.1.3	Modelo para la representación del contexto .....	72
4.2	Representación ontológica de los elementos caracterizados .....	73
4.2.1	Fase de especificación.....	74
4.2.2	Fase de conceptualización .....	75
4.2.3	Fases de formalización e implementación.....	81
4.3	Planificación instruccional de CVAs .....	83
4.4	Diseño de Servicios de Awareness.....	84
4.5	Desarrollo del SMA.....	85
4.5.1	Especificación del sistema .....	86
4.5.2	Diseño de la arquitectura .....	89
4.5.3	Diseño detallado .....	96
4.6	Conclusiones del capítulo .....	96
<b>5.</b>	<b>Implementación y validación del prototipo .....</b>	<b>99</b>
5.1	Implementación de la plataforma Multi-Agente .....	100
5.2	Integración Ontológica y recopilación de información .....	103
5.3	Integración del módulo de planificación instruccional de CVAs.....	104
5.4	Integración del módulo de Servicios de Awareness .....	106
5.5	Validación .....	108
5.5.1	Validación de las recomendaciones realizadas a partir de la ontología.....	109
5.5.2	Validación de los Servicios de Awareness .....	111
5.5.3	Validación de la funcionalidad de la aplicación móvil .....	113
5.5.4	Validación general del SMA .....	115
5.6	Conclusiones del capítulo .....	122
<b>6.</b>	<b>Conclusiones y Trabajo Futuro .....</b>	<b>125</b>
6.1	Conclusiones y Aportes de la tesis .....	125
6.2	Trabajo Futuro .....	127
	<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>129</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1-1: Principales problemas de investigación .....	17
Figura 2-1: Clasificación de cursos virtuales. Adaptado de (Pérez, 2005) .....	31
Figura 2-2: Características de los OA. ....	34
Figura 2-3: Modelo jerárquico del estándar IEEE-LOM. Tomado de (Learning Technology Standards Committee, 2002) .....	37
Figura 2-4: Estándar OBAA. Tomado de (Vicari et al. 2010) .....	38
Figura 2-5: Metodologías más utilizadas para el desarrollo de SMA y sus principales influencias. Tomada de (Giorgini & Henderson-Sellers 2005). ....	41
Figura 2-6: Modelos de MAS-CommonKADS. Tomado de (Giorgini & Henderson-Sellers 2005) .....	42
Figura 2-7: Modelos de la metodología GAIA y su correspondencia con diagramas AUML. Adaptado de (James Odell 2000).....	42
Figura 2-8: Fases de la metodología Prometheus. Adaptado de (Padgham & Winikoff 2004). ....	44
Figura 2-9: Herramientas para el desarrollo de plataformas Multi-Agente. ....	46
Figura 3-1: Flujo del sistema ubicuo de aprendizaje adaptativo. Tomado de (Wang & Wu 2011) .....	50
Figura 3-2 : Modelo de comunidad de u-Learning basado en redes de sensores inalámbricos. Tomado de (Caytiles et al. 2011).....	51
Figura 3-3: Ambiente de u-learning sensible al contexto para operaciones de difracción de rayos X de un solo cristal. Tomado de (Hwang et al. 2009).....	53
Figura 3-4: Arquitectura de CAULS. Tomado de (Chen & Huang 2012).....	54
Figura 3-5: Diagrama conceptual de la interfaz de usuario adaptativa. Tomado de (Lee et al. 2011).....	58
Figura 3-6: Arquitectura Multi-Agente para un sistema de e-learning seguro e interactivo. Tomado de (Ahmad & Bokhari 2012) .....	59
Figura 3-7: Ontología para el mapeo de los conceptos del estándar OBAA. Tomado de (Primo et al. 2013) .....	61
Figura 3-8: Proceso de clasificación de OA utilizando la ontología LOSO. Tomado de (Vidal et al. 2010).....	63
Figura 4-1: Modelo para la representación de CVA y de recursos educativos.....	68
Figura 4-2: Caracterización de los conceptos referentes al perfil del usuario. ....	70

Figura 4-3: Modelo del perfil del usuario.....	71
Figura 4-4: Caracterización general del modelo contextual del usuario. ....	72
Figura 4-5: Modelo delimitado del contexto del usuario. ....	73
Figura 4-6: Proceso de desarrollo Methontology. Adaptado de (Benjamins et al. 2005) .	74
Figura 4-7: Tareas de la fase de conceptualización de Methontology. Tomado de (Corcho et al. 2005) .....	76
Figura 4-8: Taxonomía de conceptos de la ontología. ....	77
Figura 4-9: Diagrama de relaciones binarias. ....	78
Figura 4-10: Estructura ontológica.....	82
Figura 4-11: Ontología generada a partir de Protégé.....	82
Figura 4-12: Artefactos proporcionados por la herramienta PDT. Adaptada de (Lin et al. 2008).....	86
Figura 4-13: Diagrama para la vista general de análisis del escenario de planificación instruccional de CVAs. ....	87
Figura 4-14: Diagrama para la vista general de objetivos del escenario de recomendación de recursos educativos.....	88
Figura 4-15: Diagrama para la vista general de roles del sistema para el rol de planificar CVA.....	88
Figura 4-16: Diagrama de acoplamiento de datos. ....	89
Figura 4-17: Diagrama de agrupamiento de roles en agentes. ....	90
Figura 4-18: Protocolo de recomendación de asistentes. ....	92
Figura 4-19: Vista general del SMA. ....	95
Figura 4-20: Modelo de SMA ubicuo, adaptativo, y sensible al contexto basado en ontologías propuesto. ....	97
Figura 5-1: Diagrama de despliegue de la aplicación SMArt CVA. ....	100
Figura 5-2: Interfaz gráfica de JADE para la plataforma multi-agente.....	102
Figura 5-3: Interfaces móviles de ingreso y menú principal del sistema SMArt CVA. ....	102
Figura 5-4: Proceso de cosechado de información ontológica (perfil del usuario y test de estilos de aprendizaje).....	103
Figura 5-5: Interfaces móviles del módulo de planificación. ....	105
Figura 5-6: Servicios de awareness (participómetro, recomendación de asistentes y recursos accedidos). ....	107
Figura 5-7: Servicios de awareness (grafo de avance y vista histórica de actividades). ....	108
Figura 5-8: Proceso de validación ontológica por parte de los estudiantes.....	109
Figura 5-9: Proceso de validación ontológica por parte de los profesores. ....	110
Figura 5-10: Latencia o tiempo de respuesta del SMA. ....	118
Figura 5-11: Tiempos de conexión de los usuarios al SMA. ....	119
Figura 5-12: Tiempo de respuesta del SMA cuando aumenta la cantidad de registros en la ontología.....	120
Figura 5-13: Tiempo de respuesta del SMA cuando aumenta el número de usuarios concurrentes. ....	121

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1-1: Etapas, objetivos y actividades de la tesis.....	20
Tabla 2-1: Comparación entre enseñanza tradicional y método de e-learning. Adaptado de (Cabero Almenara 2006).....	30
Tabla 3-1: Síntesis trabajos relacionados primer frente.....	60
Tabla 3-2: Síntesis trabajos relacionados segundo frente.....	64
Tabla 4-1: Glosario de términos de la ontología.....	76
Tabla 4-2: Diccionario de conceptos de la ontología.....	78
Tabla 4-3: Descripción detallada de relaciones binarias.....	80
Tabla 4-4: Descripción de atributos de instancia en detalle.....	80
Tabla 4-5: Regla de derechos.....	81
Tabla 4-6: Regla de inferencia ontológica para la selección de contenidos.....	93
Tabla 4-7: Regla de recomendación de asistentes por contexto espacial.....	94
Tabla 5-1: Características técnicas para la implementación de la plataforma multi-agente.....	100
Tabla 5-2: Características técnicas para la integración ontológica.....	103
Tabla 5-3: Características técnicas para la integración de los módulos de planificación instruccional y de servicios de awareness.....	106
Tabla 5-4: Resultados de la validación ontológica por parte de los estudiantes.....	109
Tabla 5-5: Resultados de la validación ontológica por parte del primer profesor.....	111
Tabla 5-6: Resultados de la validación ontológica por parte del primer profesor.....	111
Tabla 5-7: Resultados de la validación ontológica por parte del primer profesor.....	111
Tabla 5-8: Medición de la encuesta de percepción de los servicios de awareness.....	112
Tabla 5-9: Validación del despliegue de la aplicación en diversas versiones del Sistema Operativo Android.....	114
Tabla 5-10: Validación del despliegue de la aplicación en diversos dispositivos móviles.....	115
Tabla 5-11: Validación cualitativa del SMA.....	116
Tabla 5-12: Tiempo de respuesta del SMA al aumentar los registros en la ontología....	119
Tabla 5-13: Criterios de calificación de la escalabilidad.....	121

# 1. Presentación de la tesis

El presente capítulo presenta una descripción general de la tesis a partir de la problemática, las preguntas emergentes de investigación, los objetivos planteados, la metodología propuesta para su desarrollo, las principales contribuciones y los logros alcanzados.

## 1.1 Introducción

La gran diversidad de mecanismos de acceso a la información que nos brinda la tecnología móvil actual, hace que la computación tradicional se vea limitada ante las necesidades de los usuarios. A partir de esto, surge la necesidad de desarrollar sistemas de e-learning que permitan ofrecer información adaptada a los perfiles del usuario, la cual sea confiable y recuperada en tiempo real de acuerdo a los requerimientos del entorno (Zervas et al. 2011)(Carrillo 2007). La tecnología estática que hemos concebido hasta el momento tiende a desaparecer, dando paso a un nuevo paradigma en donde los usuarios cuentan una gran gama de interfaces y dispositivos para comunicarse con los sistemas de información, y en donde el contexto juega un papel sumamente importante. Para abordar estas necesidades surgen 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.

De igual manera, los numerosos recursos virtuales educativos que se encuentran disponibles hacen necesario el empleo de modelos y representaciones que faciliten la selección, creación, interoperabilidad y difusión de dichos contenidos a través de la Web (Berjon et al. 2008). La representación del conocimiento a partir de ontologías aparece como una posibilidad válida para abordar estas necesidades.

## 1.2 Problemática

Mediante la revisión del estado del arte referente al área de investigación y su posterior análisis, se ha logrado vislumbrar la importancia de nuevos mecanismos de enseñanza que potencien el aprendizaje. De igual manera se encontró que múltiples autores han discutido acerca de los métodos de enseñanza-aprendizaje tradicionales, dependientes de las aulas en donde las clases son totalmente magistrales, sosteniendo que son muy artificiales, pasivas, rígidas y no responden con claridad a las necesidades que la sociedad está planteando con respecto a procesos de enseñanza-aprendizaje (Kinshuk & Sabine 2012).

Lo anterior se debe a que dichos métodos de enseñanza no son personalizados, es decir, no están orientados a las necesidades, gustos y técnicas de aprendizaje de cada uno de los estudiantes lo que genera desinterés por parte de éstos y retrasa notoriamente el proceso de aprendizaje.

Estas problemáticas, sumadas a las teorías modernas que sostienen que “en el proceso aprendizaje los estudiantes no absorben de forma pasiva el conocimiento personalmente significativo, sino que más bien lo crean de forma activa, a partir de su experiencia del mundo” (Vojak et al. 2011), reflejan las necesidades del mundo actual con respecto al planteamiento de nuevos mecanismos de enseñanza-aprendizaje que estén más orientados al entorno en el que se desenvuelven los estudiantes, al igual que a las características que describen sus gustos y necesidades. Otra falencia de los sistemas de e-learning actuales es que no consideran características del contexto en el cual se desenvuelve el estudiante, ni tampoco proporcionan mecanismos ubicuos de acceso a la información de los cursos.

Otra gran problemática es que los recursos virtuales educativos que se encuentran disponibles son numerosos y se carece de modelos y representaciones que faciliten la selección, creación, interoperabilidad y difusión de dichos contenidos a través de la Web (Vojak et al. 2011).

En la figura 1-1 se presenta un diagrama causa-efecto de las problemáticas asociadas al área de investigación, que permite vislumbrar de mejor manera los problemas que abordará la investigación propuesta. La caracterización de los problemas fue delimitada



dentro del área de interés investigativo, los problemas que se resaltan en rojo ya fueron o están siendo abordados por otras investigaciones; sin embargo, se decidió incluirlos en el diagrama para brindar una visión más completa de los problemas que se relacionan con la presente investigación y de qué manera se pueden integrar dichas investigaciones con el fin de entregar soluciones más satisfactorias. Los elementos resaltados en azul y subrayados, representan las problemáticas que pretende abordar la presente investigación.

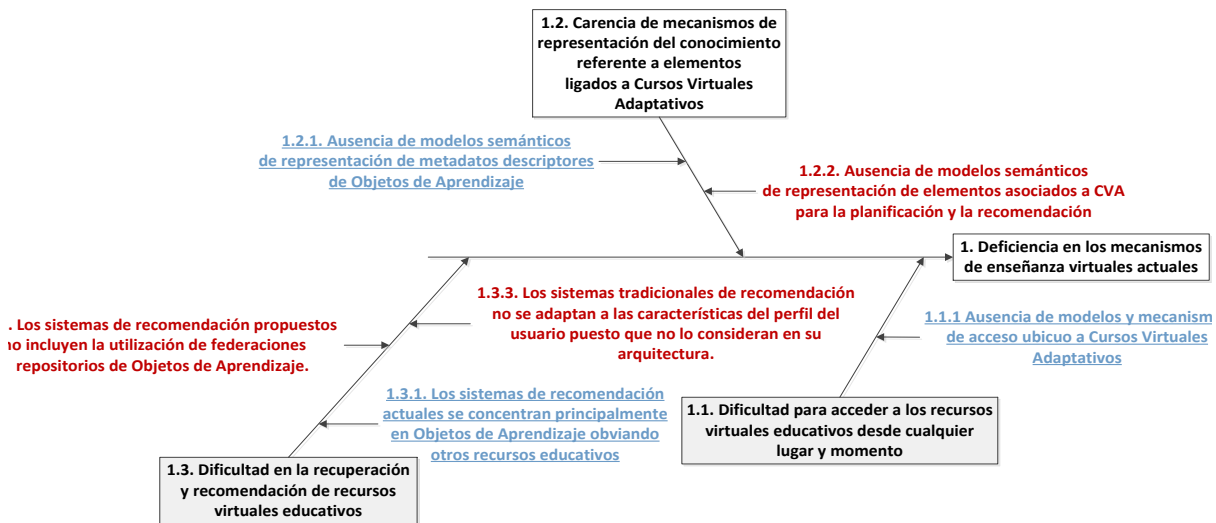


Figura 1-1: Principales problemas de investigación

### 1.3 Pregunta emergente de investigación

La pregunta de investigación que surge a partir de la revisión del estado del arte, sumado a las problemáticas identificadas se relacionan a continuación:

¿Será posible extender los modelos actuales de búsqueda y administración de recursos educativos en Cursos Virtuales Adaptativos, a un nuevo modelo ubicuo y sensible al contexto que permita el acceso adaptativo y personalizado a dichos recursos en cualquier momento y lugar?

## **1.4 Objetivo de la tesis**

A partir de las falencias identificadas en las áreas de investigación que conforman la tesis y de la pregunta de investigación emergente, se planteó el objetivo general de la tesis el cual fue desglosado a partir de objetivos específicos.

### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar, desarrollar y evaluar un modelo de Sistema Multi-Agente (SMA) de e-learning ubicuo, adaptativo y sensible al contexto basado en ontologías, que permita ofrecer recomendaciones personalizadas de recursos educativos.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar los elementos de computación ubicua, ontologías, adaptación al usuario, sensibilidad al contexto y sistemas de recomendación que se requieren para definir el modelo de e-learning.
- Identificar los diferentes enfoques existentes de la representación del conocimiento a partir de ontologías y proponer un modelo que integre los elementos caracterizados previamente.
- Diseñar el modelo de SMA de e-learning ubicuo, adaptativo y sensible al contexto basado en los elementos caracterizados anteriormente.
- Implementar un prototipo funcional basado en el modelo propuesto.
- Evaluar a través de métricas el desempeño del prototipo implementado, utilizando casos de estudio.

## 1.5 Alcance de la tesis

Orientado hacia la consecución de los objetivos planteados para esta tesis, se define el alcance considerando los siguientes aspectos:

- Este trabajo considera módulos de selección y recomendación de objetos de aprendizaje que no serán desarrollados dentro de la investigación, debido a que son temáticas de interés de otras investigaciones.
- Los trabajos ligados a la temática de planificación de Cursos Virtuales Educativos no están considerados dentro del alcance de esta tesis; sin embargo, no se descartan posibles mejoras a trabajos previos que hayan abordado esta temática.
- La evaluación tanto de los Cursos Virtuales Adaptativos como de los Objetos de Aprendizaje no es considerada en esta investigación; sin embargo, es necesario integrar trabajos afines al modelo propuesto.
- Cuando se hace referencia a recursos educativos se consideran como objetos de estudio iniciales: Objetos de Aprendizaje, recomendación de tutores especializados, asesorías personalizadas, cursos y capacitaciones afines a las temáticas de los CVA.

Es importante aclarar que los puntos que excedan el alcance serán considerados como trabajo futuro o temas de otras investigaciones afines.

## 1.6 Metodología utilizada

La tesis considera cinco etapas para su desarrollo las cuales estuvieron orientadas a alcanzar los objetivos del proyecto a través de actividades bien definidas. En las diferentes etapas se utilizaron métodos y técnicas propias de la Inteligencia Artificial Distribuida, la Computación Ubicua, los Sistemas de Recomendación, las Ontologías, entre otras, con el fin de proponer un modelo y construir un prototipo funcional al cual se realizar pruebas de desempeño. La tabla 1 presenta las etapas del proyecto indicando los objetivos a alcanzar y las actividades que se deben realizaron para cumplirlos a cabalidad.

**Tabla 1-1:** Etapas, objetivos y actividades de la tesis

<b>ETAPA</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>ACTIVIDADES</b>
<p><b>Etapa 1:</b> Estructuración del marco teórico y estado del arte en el ámbito de los sistemas de recomendación ubicuos y sensibles al contexto relacionados con e-learning.</p>	<p>Caracterizar los elementos de computación ubicua, adaptación al usuario, sensibilidad al contexto y sistemas de recomendación que se requieren para definir el modelo de e-learning.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión bibliográfica sobre computación ubicua aplicada a entornos de aprendizaje (U-learning).</li> <li>2. Revisión bibliográfica sobre sistemas adaptativos y perfiles de usuario.</li> <li>3. Revisión bibliográfica sobre SMA considerando metodologías de desarrollo, tipologías, herramientas de desarrollo, características de los agentes.</li> <li>4. Revisión bibliográfica sobre sistemas de recomendación.</li> </ol>
<p><b>Etapa 2:</b> Diseño y desarrollo de una ontología que permita representar los elementos del dominio.</p>	<p>Identificar los diferentes enfoques existentes de la representación del conocimiento a partir de ontologías y proponer un modelo que integre los elementos caracterizados previamente</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión bibliográfica sobre metodologías existentes para el desarrollo de ontologías que consideren los elementos caracterizados previamente.</li> <li>2. Determinar el conocimiento que se desea representar a través de la ontología.</li> <li>3. Seleccionar una</li> </ol>

		<p>metodología de desarrollo para la construcción de la ontología.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Implementar la ontología propuesta a través del modelo, utilizando tecnologías actuales.</li> <li>5. Evaluar la ontología a través de casos de estudio.</li> </ol>
<p><b>Etapas 3:</b> Diseño del modelo propuesto.</p>	<p>Diseñar el modelo de SMA de e-learning ubicuo, adaptativo y sensible al contexto basado en los elementos caracterizados anteriormente</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Establecer los componentes conceptuales fundamentales para el planteamiento del modelo.</li> <li>2. Caracterizar los elementos del modelo relacionados con el SMA, como las tipologías, características, comportamientos y servicios de los agentes a partir de la metodología de desarrollo seleccionada.</li> <li>3. Definir los mecanismos e interfaces tanto para la recopilación de la información necesaria como para la publicación de los servicios del modelo.</li> <li>4. Definir la arquitectura apropiada para la integración del modelo de SMA con los mecanismos de acceso ubicuo y sensibilidad al contexto.</li> <li>5. Caracterizar e integrar con</li> </ol>

		el modelo, los elementos necesarios para el manejo de perfiles de usuario que permitan la recomendación y la adaptación de la información.
<b>Etapa 4:</b> Desarrollo e implementación del modelo propuesto	Implementación de un prototipo funcional basado en el modelo propuesto.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Caracterizar las tecnologías más apropiadas para la implementación del modelo.</li> <li>2. Desarrollar el modelo propuesto de acuerdo a las directrices establecidas a través de la metodología.</li> <li>3. Desplegar los servicios y evaluar inicial en las plataformas a las que se orientaron.</li> </ol>
<b>Etapa 5:</b> Evaluación del prototipo funcional	Evaluar a través de métricas el desempeño del prototipo implementado utilizando casos de estudio.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Caracterizar las métricas apropiadas para la evaluación del prototipo.</li> <li>2. Establecer los casos de estudio necesarios para la evaluación.</li> <li>3. Recopilar la información necesaria para la evaluación.</li> <li>4. Realizar la evaluación del prototipo funcional.</li> <li>5. Analizar y concluir el comportamiento del prototipo a partir de las pruebas realizadas.</li> <li>6. Elaborar documentación</li> </ol>

---

		técnica del proyecto y artículos científicos.
--	--	---

## 1.7 Cumplimiento de los objetivos

A continuación se presenta una descripción general de la manera en la que se abordaron los objetivos de la presente tesis con el fin de darles cumplimiento:

**Objetivo 1:** *Caracterizar los elementos de computación ubicua, ontologías, adaptación al usuario, sensibilidad al contexto y sistemas de recomendación que se requieren para definir el modelo de e-learning.*

Durante esta etapa de la tesis se realizó una revisión bibliográfica para identificar tanto los conceptos asociados a la investigación (el marco teórico se presenta en el capítulo 2) como los trabajos relacionados, con el fin de identificar y contextualizar las fortalezas y deficiencias de cada uno de los trabajos asociados (los trabajos relacionados son presentados en el capítulo 3).

**Objetivo 2:** *Identificar los diferentes enfoques existentes de la representación del conocimiento a partir de ontologías y proponer un modelo que integre los elementos caracterizados previamente.*

Para abordar este objetivo se realizó una búsqueda detallada de las técnicas de representación del conocimiento a partir de ontologías. Se evidenció que la mejor manera de representar dicho conocimiento era mediante el uso de ontologías de dominio específico. Posteriormente se revisaron diversos trabajos relacionados con el uso de ontologías en el campo académico, más concretamente, ontologías enfocadas a representar el dominio del e-learning y de los cursos virtuales adaptativos.

**Objetivo 3:** *Diseñar el modelo de SMA de e-learning ubicuo, adaptativo y sensible al contexto basado en los elementos caracterizados anteriormente.*

Dando cumplimiento a este objetivo se definió la estructura general del modelo propuesto a partir de los elementos caracterizados en los objetivos previos (el modelo propuesto es presentado en el capítulo 4). De igual manera fueron descritos cada uno de los componentes asociados al modelo y el proceso de integración de cada uno de estos.

**Objetivo 4:** *Implementar un prototipo funcional basado en el modelo propuesto.*

A través de esta etapa se logró plasmar en un prototipo el modelo propuesto desarrollado previamente y se desarrollaron cada uno de sus componentes integrando técnicas de inteligencia artificial con tecnologías de la computación.

**Objetivo 5:** *Evaluar a través de métricas el desempeño del prototipo implementado, utilizando casos de estudio.*

Finalmente se procedió a evaluar el desempeño del prototipo implementado a través de métricas aplicadas a diferentes casos de estudio.

## 1.8 Principales contribuciones logradas

La presente investigación estuvo enfocada a fortalecer los sistemas de e-learning adaptativos, más específicamente aquellos cuyo principal objetivo está enfocado a fortalecer las técnicas en u-learning personalizado y distribuido. A partir de esto se propuso un modelo de SMA ubicuo, adaptativo y sensible al contexto que permitiera ofrecer recomendaciones personalizadas de recursos educativos mediante la integración de diversas técnicas de Inteligencia Artificial.

El modelo propuesto abordó las problemáticas identificadas durante la revisión del estado del arte, mejorando así los entornos de aprendizaje virtuales en cuanto a personalización de cursos, recomendación de recursos educativos, sensibilidad al contexto y ubicuidad.

Con el desarrollo de la presente tesis se generaron las siguientes contribuciones principalmente a las áreas de Inteligencia Artificial Distribuida e Informática Educativa:

- Desde el punto de vista conceptual se desarrolló un modelo de SMA ubicuo, adaptativo y sensible al contexto para ofrecer recomendaciones personalizadas de recursos educativos en Cursos Virtuales Adaptativos.
- Como investigación aplicada, se implementó un prototipo funcional basado en el modelo propuesto y se llevó a cabo una evaluación de su desempeño a través de métricas utilizando casos de estudio.



## 1.9 Logros adicionales

Adicional a los objetivos propuestos en la presente tesis se logró:

- Un módulo de servicios de awareness que permitió a los estudiantes tener conciencia de su estado actual dentro del curso, proporcionando también mecanismos por parte del profesor para monitorear a sus estudiantes y detectar falencias en el proceso de aprendizaje.
- Dentro del modelo ontológico propuesto se lograron no solo describir las características del perfil y del contexto del usuario, sino que también se logró mapear el estándar IEEE-LOM para el etiquetado de metadatos de OA.

## 1.10 Difusión de resultados

Con el objetivo de difundir el conocimiento y recibir retroalimentación por parte de la comunidad científica, fueron presentados diversos artículos en revistas indexadas, capítulos de libro y ponencias referentes a las temáticas que aborda la presente tesis. Dichos trabajos son presentados a continuación.

### 1.10.1 Artículos en revistas

- D. Ovalle, O. Salazar, and N. Duque, “Modelo de Recomendación Personalizada en Cursos Virtuales basado en Computación Ubicua y Agentes Inteligentes,” Revista de Información tecnológica, Centro de información tecnológica – Chile. Categoría A2. ISSN: 0718-0764, vol. 25(6), 2014.
- O. Salazar, D. Ovalle, & N., Duque. “Sistema Multi-Agente para Recomendación de Recursos Educativos utilizando Servicios de Awareness y Dispositivos Móviles”. Revista Colombiana de Computación, Universidad Autónoma de Bucaramanga. Categoría C. ISSN: 1657-2831, (Aceptada para publicación), 2015.
- O. Salazar, P. Rodríguez, D. Ovalle, & N., Duque. “Interfaces Adaptativas Personalizadas para brindar Recomendaciones en Repositorios de Objetos de Aprendizaje”. Revista COMUNICAR, Revista Científica Iberoamericana de Comunicación y Educación. Categoría A2, JCR 0.35. ISSN: 1988-3293, (Aceptada para publicación), 2015.

### 1.10.2 Capítulos en libros de investigación

- D. Ovalle, O. Salazar y N. Duque. Ubiquitous Multi-Agent Context-Aware System for Enhancing Teaching – Learning Processes Adapted to Student Profile. En: Technology Platform Innovations and Forthcoming Trends in Ubiquitous Learning. Education Books | IGI Global. [Online]. ISBN: 9781466645424, Disponible en: <http://www.igi-global.com/book/technology-platform-innovations-forthcoming-trends/76719>, 2014.
- O. Salazar, D. Ovalle y G. Giraldo. Sistema adaptativo basado en ontologías para la selección personalizada de recursos educativos en cursos virtuales. En: Ingeniería del software e ingeniería del conocimiento, dos disciplinas interrelacionadas. Universidad de Medellín. ISBN: 978-958-8815-31-2, 2014.

### 1.10.3 Ponencias en eventos nacionales e internacionales

- A. Valencia, O. Salazar, D. Ovalle y G. Awad, “Agent-based Market Research Learning Environment for New Entrepreneur,” Evento: Workshop on Multiagent System Based Learning Environments – MASLE 2012. Cartagena. 2012.
- A. Valencia, O. Salazar, and D. Ovalle, “Improving the Entrepreneur’s Market Research Strategies Learning Process Using the MaREMAS Environment,” Evento: Workshop on Multiagent System Based Learning Environments – MASLE 2013. Congreso PAAMS. Highlights on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems, pp. 363–374, 2013.
- S. Álvarez, O. Salazar, and D. Ovalle, “User Centered Ubiquitous Multi-Agent Model for e-Health Web-Based Recommender Applications Development,” Evento: Workshop on Multiagent System Based Learning Environments – MASLE 2013. Congreso PAAMS. Highlights on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems, pp. 429–440, 2013.
- D. Ovalle, O. Salazar y N. Duque. “Sistema Multi-Agente Basado en Computación Ubicua para Recomendación Personalizada en Dispositivos Móviles,” Evento: 11° Congreso Interamericano de Computación Aplicada a la Industria de Procesos – CAIP 2013. Lima – Perú, 2013.
- O. Salazar, D. Ovalle y G. Giraldo. “Sistema adaptativo basado en ontologías para la selección personalizada de recursos educativos en cursos virtuales,”. Evento: X

Jornadas Iberoamericanas de Ingeniería de Software e Ingeniería del Conocimiento - JIISIC 2013, Medellín, Colombia, 2013.

- O. Salazar, D. Ovalle y N. Duque. “Student-Centered Ubiquitous Multi-Agent System for Improving Learning using Mobile Devices,” Evento: Workshop on Multiagent System Based Learning Environments – MASLE 2014, Hawaii - USA, 2014.
- P. Rodríguez, O. Salazar, D. Ovalle, N. Duque y J. Moreno. “Using Ontological Modeling for Multi-Agent Recommendation of Learning Objects,” Evento: Workshop on Multiagent System Based Learning Environments – MASLE 2014. Hawaii, USA, 2014.
- O. Salazar, P. Rodríguez, D. Ovalle y N. Duque. “Interfaces Adaptativas Personalizadas para brindar Recomendaciones en Repositorios de Objetos de Aprendizaje,” Evento: XV International Conference on Human Computer Interaction – INTERACCIÓN 2014, Tenerife, España, 2014.
- O. Salazar, D. Ovalle y N. Duque. “Sistema Multi-Agente para Recomendación de Recursos Educativos utilizando Servicios de Awareness y Dispositivos Móviles,” Evento: Novena Conferencia Latinoamericana de Objetos y Tecnologías de Aprendizaje - LACLO 2014, Manizales, Colombia, 2014.
- P. Rodríguez, N. Duque, D. Ovalle, D. Peluffo y O. Salazar. “Análisis de Características del Perfil de Usuario para un Sistema de Recomendación de Objetos de Aprendizaje,” Evento: Novena Conferencia Latinoamericana de Objetos y Tecnologías de Aprendizaje - LACLO 2014, Manizales, Colombia, 2014.

#### **1.10.4 Participación en proyectos de investigación**

- 2012 – 2013 Proyecto de COLCIENCIAS: “ROAC Creación de un modelo para la Federación de OA en Colombia que permita su integración a confederaciones internacionales”, de la Universidad Nacional de Colombia, con código 1119-521-29361.
- 2013-2014 Proyecto de la Dirección de Investigaciones de la Sede Medellín (DIME): “Mejoramiento de la capacidad académica, visibilidad, contacto e interacción con la comunidad Nacional e Internacional del grupo de investigación

en Inteligencia Artificial de la Universidad Nacional”, de la Universidad Nacional de Colombia, con código 14163.

- 2013-2014 Proyecto de la Dirección de Investigaciones de la Sede Medellín (DIME): “Mejoramiento de las capacidades académicas de visibilidad y cooperación entre grupos Iberoamericanos de investigación en Informática Educativa”, de la Universidad Nacional de Colombia, con código 83.

## 1.11 Organización del documento

El documento está organizado de la siguiente manera; en el siguiente capítulo se presentan los conceptos generales que abarcan las temáticas fundamentales de la problemática. En el capítulo 3 se presenta la revisión del estado del arte, donde se describen los trabajos relacionados con las áreas y técnicas abordadas en la investigación. El modelo propuesto se presenta en el capítulo 4. La implementación y evaluación del prototipo son presentadas en el capítulo 5, mientras que en el capítulo 6 se presentan las conclusiones y el trabajo futuro. Finalmente, se contempla una aparte que incluye los anexos referentes a recursos que pueden ser importantes para respaldar los conceptos presentados para dar respaldo al contenido que se presenta a lo largo del documento.

## **2. Marco Teórico**

Este capítulo tiene como objetivo presentar los conceptos más relevantes relacionados con la investigación que soportan el modelo multi-agente ubicuo, adaptativo y sensible al contexto, propuesto para la recomendación de recursos educativos.

La figura 2-1 presenta una distribución gráfica de la relación entre los conceptos más significativos de la investigación, los cuales serán descritos detalladamente a lo largo de este capítulo. Dichos conceptos tienen como área común el e-learning y los sistemas de e-learning adaptativos.

### **2.1 e-learning y Sistemas de e-learning Adaptativos**

El concepto de e-learning puede ser definido como: "todas aquellas metodologías, estrategias o sistemas de aprendizaje que emplean tecnología digital y/o comunicación mediada por computadores para producir, transmitir, distribuir y organizar conocimiento entre individuos, comunidades y organizaciones" (Bernardez 2007). El utilizar este tipo de mecanismo de enseñanza trae consigo numerosas ventajas respecto al método tradicional. Cabero et al., (2005) realizan una comparación entre las características más significativas del método de enseñanza tradicional y el método que incorpora mecanismos de e-learning (tabla 2-1).

Los Sistemas de e-learning Adaptativos usan el conocimiento acerca del dominio que involucra la información contextual, las características cognitivas del estudiante a partir de perfiles de usuario y las estrategias de enseñanza-aprendizaje para suministrar aprendizaje individualizado y tutoría flexible. Según (Brusilovsky & Peylo 2003) los sistemas adaptativos pueden dividirse en tres grupos:

- **Sistemas de Información Adaptativa:** Suministran información personalizada en cualquier sitio web.

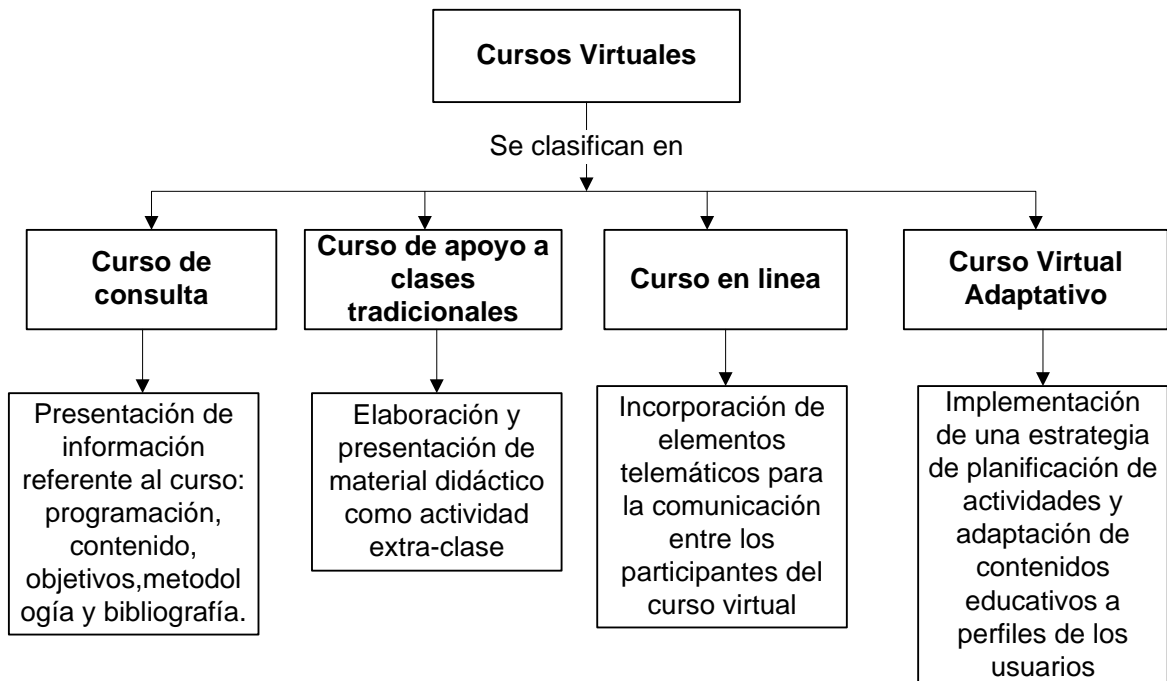
- Sistemas de Filtro Adaptativo: Son herramientas que simplifican las tareas de búsqueda, entregando resultados personalizados en grandes cantidades de información.
- Sistemas Educativos Adaptativos: Buscan personalizar información referente a recursos educativos dentro de sistemas de e-learning.

**Tabla 2-1:** Comparación entre enseñanza tradicional y método de e-learning. Adaptado de (Cabero Almenara 2006)

<b>Formación basada en la red</b>	<b>Formación presencial tradicional</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite que los estudiantes vayan a su propio ritmo de aprendizaje.</li> <li>• Es una formación basada en el concepto de <i>formación en el momento que se necesita (just-in-training)</i>.</li> <li>• Permite la combinación de diferentes materiales (auditivos, visuales y audiovisuales).</li> <li>• Con una sola aplicación puede atenderse a un mayor número de estudiantes</li> <li>• El conocimiento es un proceso activo de construcción</li> <li>• Tiende a reducir el tiempo de formación en las personas</li> <li>• Tiende a ser interactiva, tanto entre los participantes en el proceso como con los contenidos.</li> <li>• Tiende a realizarse de forma individual, sin que ello signifique la renuncia a la realización de propuestas colaborativas.</li> <li>• Puede utilizarse en el lugar de trabajo y en tiempo disponible del estudiante.</li> <li>• Es flexible.</li> <li>• Tenemos poca experiencia en su uso.</li> <li>• No siempre disponemos de los recursos estructurales y organizativos para su puesta en funcionamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parte de una base de conocimiento y el estudiante debe ajustarse a ella.</li> <li>• Los estudiantes determinan cuándo y cómo los estudiantes recibirán los materiales formativos.</li> <li>• Parte de la base de que el sujeto recibe pasivamente el conocimiento para generar actitudes innovadoras, críticas e investigadoras.</li> <li>• Tiende a apoyarse en materiales impresos y en el profesor como fuente de presentación y estructuración de la información.</li> <li>• Tiende a un modelo lineal de comunicación.</li> <li>• La comunicación se desarrolla básicamente entre el profesor y el estudiante.</li> <li>• La enseñanza se desarrolla de manera preferentemente grupal.</li> <li>• Puede prepararse para desarrollarse en un tiempo y en un lugar.</li> <li>• Se desarrolla en un tiempo fijo y en aulas específicas.</li> <li>• Tiende a la rigidez temporal.</li> <li>• Tenemos mucha experiencia en su utilización.</li> <li>• Disponemos de muchos recursos estructurales y organizativos para su puesta en funcionamiento.</li> </ul>

Los cursos virtuales tradicionales son entornos virtuales de aprendizaje cuyo principal objetivo radica en facilitar el acceso a diferentes programas educativos a partir de herramientas tecnológicas. Adicionalmente, los cursos virtuales pueden clasificarse en cuatro grupos: cursos de consulta, cursos de apoyo a clases, cursos en línea y cursos adaptativo (Pérez, 2005) (ver figura 2-2).

Uno de los recursos más importantes de los Sistemas de e-learning Adaptativos, los cuales son objeto de estudio de esta tesis, son los CVA (Cursos Virtuales Adaptativos). Los CVA son definidos como herramientas computacionales capaces de orientar y acompañar al alumno durante el aprendizaje de un dominio particular del conocimiento a partir de contenidos educativos. Este proceso de acompañamiento comprende el desarrollo de actividades de aprendizaje, la evaluación del desempeño de los estudiantes, la adaptación, recomendación y presentación de los contenidos educativos durante el desarrollo de un curso virtual (Duque & Ovalle 2011).



**Figura 2-1:** Clasificación de cursos virtuales. Adaptado de (Pérez, 2005)

## 2.2 Sistemas de Recomendación (SR)

Los Sistema de Recomendación (SR) son herramientas computacionales que tienen como objetivo principal brindarle a los usuarios aquellos resultados de búsquedas de información cercanos a sus necesidades (Li 2010) (Casali et al. 2011); además, debe realizar predicciones a partir del hecho que a un usuario le guste o no cierto ítem, objeto, medio o información al que podría acceder (Mizhquero 2009). Para ello se necesita de perfiles que almacenen la información y las preferencias de cada usuario (Cazella et al. 2010).

Existen muchas técnicas de sistemas de recomendación, cada una de éstas puede ser usada para diferentes enfoques y en diferentes contextos, de acuerdo a las necesidades (Burke 2002). Así mismo, este tipo de sistemas requieren de gran cantidad de información sobre los usuarios, el contexto en el cual se desenvuelven y los recursos que se desean recomendar, para entregar así resultados de calidad y con buenos tiempos de respuesta (Sanjuán et al. 2009) (Li 2010).

## 2.3 Perfiles de Usuario

Los perfiles de usuario son artefactos (e.g. plantillas, esquemas, estructuras, etc.) que permiten modelar las características y la información personal de un usuario particular. Esto permite tener una representación única de cada uno de los usuarios dentro de un sistema de información. El principal objetivo es describir las características, preferencias y necesidades de los usuarios con el fin de realizar búsquedas personalizadas, entregando así resultados o recursos educativos útiles a cada uno de los usuarios (Casali et al. 2011).

Con base en ésto, es necesario utilizar perfiles de usuario para asistir a un estudiante o a un docente en el proceso de búsqueda de recursos educativos que se acomoden a sus características personales y a sus preferencias (DAgostino et al. 2005).

## 2.4 Servicios de Awareness y Sistemas sensibles al contexto

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



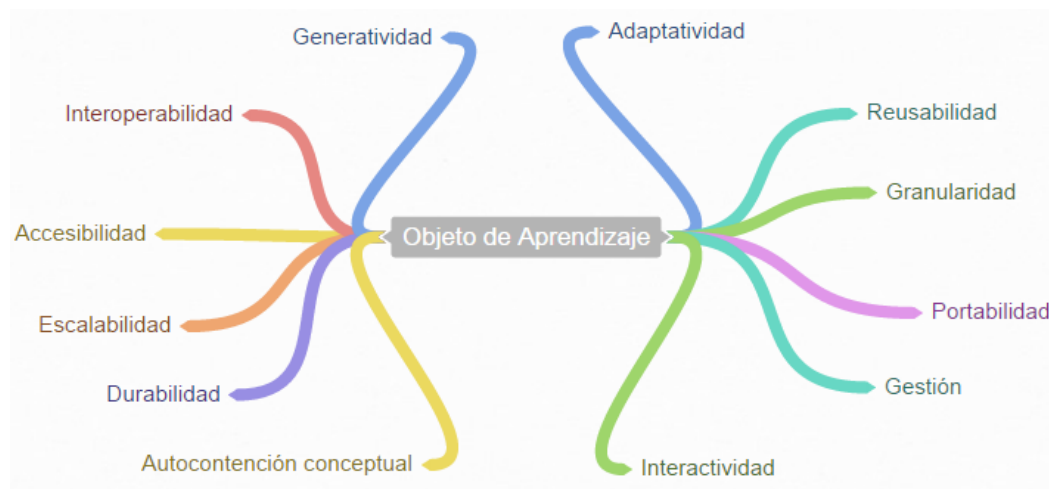
seguimiento de las actividades en ambientes virtuales de aprendizaje. A través del awareness, los individuos se dan cuenta de los cambios causados en el ambiente de aprendizaje por la acción de su actividad en la ejecución de tareas de aprendizaje, así como, al momento de evaluar sus conocimientos adquiridos a través del sistema computarizado y de esta forma le facilita al estudiante el poder dirigir sus actitudes y adquirir nueva información (Ovalle et al., 2009). 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 (Palfreyman & Rodden 1996). Gaver, (1991) resalta la importancia de proveer información de awareness para ayudar a las personas a cambiar el rol de trabajar individualmente a trabajar en grupo. Por ejemplo, Dourish & Bellotti, (1992) 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.

El contexto ha sido definido como la situación actual de una persona respecto a una actividad de aprendizaje (Luckin, 2010). Restrepo (2012) define la computación como la capacidad que tiene un sistema informático para adaptar su estructura o contenido a parámetros del entorno como la localización de uso, el conjunto de personas y los objetos cercanos, como también los cambios de estos objetos en el tiempo. Un sistema sensible al contexto tiene la capacidad de recopilar información del entorno, con el objetivo de mejorar las recomendaciones y adaptar los contenidos a las necesidades, limitaciones y gustos de los usuarios.

## 2.5 Objetivos de Aprendizaje y Repositorios de Objetos de Aprendizaje

Los Objetos de Aprendizaje (OA) pueden ser definidos como entidades digitales auto-descritas a partir de metadatos estructurados y bien definidos, cuyo principal objetivo es permitir su almacenaje, recuperación y reutilización por tantos usuarios como sea posible (Raju & Ahmed, 2012). De igual manera, los OA deben comprender requisitos funcionales como la accesibilidad, la reutilización y la interoperabilidad (Ouyang & Zhu 2008). Adicionalmente, los metadatos reflejan la finalidad para la cual fue creado el OA y definen la población o dominio hacia donde está enfocado.



**Figura 2-2:** Características de los OA.

Las características más relevantes que debe comprender un material educativo para poder ser considerado como un OA son (Wiley 2001) (Callejas Cuervo et al. 2011) (Cruz Pérez & Galeana 2005):

- ✓ **Generatividad:** Capacidad del OA para dividirse con el fin de generar nuevos OA.
- ✓ **Interoperabilidad:** Característica que permite ejecutar el OA en diferentes plataformas y con diferentes especificaciones de Hardware y Software.
- ✓ **Accesibilidad:** Característica que garantiza el correcto acceso a los recursos sin restricción alguna y en el momento que lo requiera el usuario.
- ✓ **Escalabilidad:** Capacidad del OA para ser extendido o integrado con otros OAs.
- ✓ **Durabilidad:** Capacidad del OA para mantenerse actualizado a los nuevos requisitos de Software o de Hardware.

- ✓ **Adaptatividad:** Característica que permite al OA ser utilizado en diferentes áreas del conocimiento, cambiando su estructura de acuerdo a las necesidades del contexto en el cual se desenvuelve.
- ✓ **Autocontención conceptual:** Capacidad del OA para auto describirse sin necesidad de utilizar entes externos.
- ✓ **Reusabilidad:** Capacidad de utilizar el OA en diferentes contextos o por diferentes usuarios. En este sentido es importante considerar aspectos de interoperabilidad y modularidad.
- ✓ **Granularidad:** Unidad de medida del contenido del OA, a partir de la cual se puede determinar qué tan reutilizable sea en otros contextos.
- ✓ **Portabilidad:** Capacidad de migrar el OA a diferentes contextos sin que afecte su contenido o estructura.
- ✓ **Gestión:** Facilidad de obtención de los contenidos y de los metadatos del OA.
- ✓ **Interactividad:** Capacidad del OA para comunicarse con los usuarios ligados al proceso de aprendizaje.

Los repositorios de OA (ROA) por su parte son librerías digitales especializadas para el almacenaje de este tipo de entidades y sus metadatos, permitiendo así la recuperación de material educativo que apoye el proceso de e-learning (Downes 2001). Otras características importantes de este tipo de librerías digitales son las facilidades que ofrece al momento de crear, actualizar y mantener los metadatos descriptivos de los OA; apoyándose en estos para la búsqueda a distintos niveles de detalle como son áreas, categorías y otros descriptores más especializados (Sicilia et al. 2005). Existen numerosos ROA de interés general como también enfocados en áreas mucho más específicas, algunos de los más reconocidos son: MERLOT, CAREO, SMETE, BIOE y CLOE.

### 2.5.1 Estándares de Metadatos

Con el objetivo de estandarizar los esquemas de representación de metadatos se han desarrollado numerosos trabajos. Entre los estándares más reconocidos se encuentran IEEE-LOM, DublinCore, Can Core y OBAA. Estos estándares garantizan el intercambio de información entre diferentes sistemas de información permitiendo la búsqueda,

evaluación, recuperación y uso de los OA (Bez et al. 2010) (Ochoa 2011). A continuación se describen algunos de estos estándares:

- **IEEE-LOM:** Es un estándar propuesto por (Learning Technology Standards Committee, 2002) de la IEEE, que especifica la sintaxis y la semántica de los atributos necesarios para describir recursos educativos. Este estándar comprende nueve categorías y más de sesenta atributos para describir el ciclo de vida del objeto, características generales, técnicas, educacionales, entre otras (ver figura 2-3).
- **DublinCore:** Es un estándar propuesto por la DCMI (Dublin Core Metadata Initiative), el cual establece quince elementos para la catalogación de recursos digitales, muchos de los cuales son opcionales. Es importante aclarar que es un estándar de propósito general, sin embargo es ampliamente utilizado para representar metadatos de OAs.
- **OBAA:** Es un estándar brasileño el cual define un estándar para la representación de metadatos de OAs compatible con el estándar IEEE-LOM anteriormente descrito. Este estándar extiende el estándar IEEE-LOM permitiendo la interoperabilidad de OAs en múltiples plataformas, como la Web y los dispositivos móviles. Adicionalmente, considera atributos para representar información referente a la accesibilidad de personas con necesidades especiales (Bez et al. 2010).

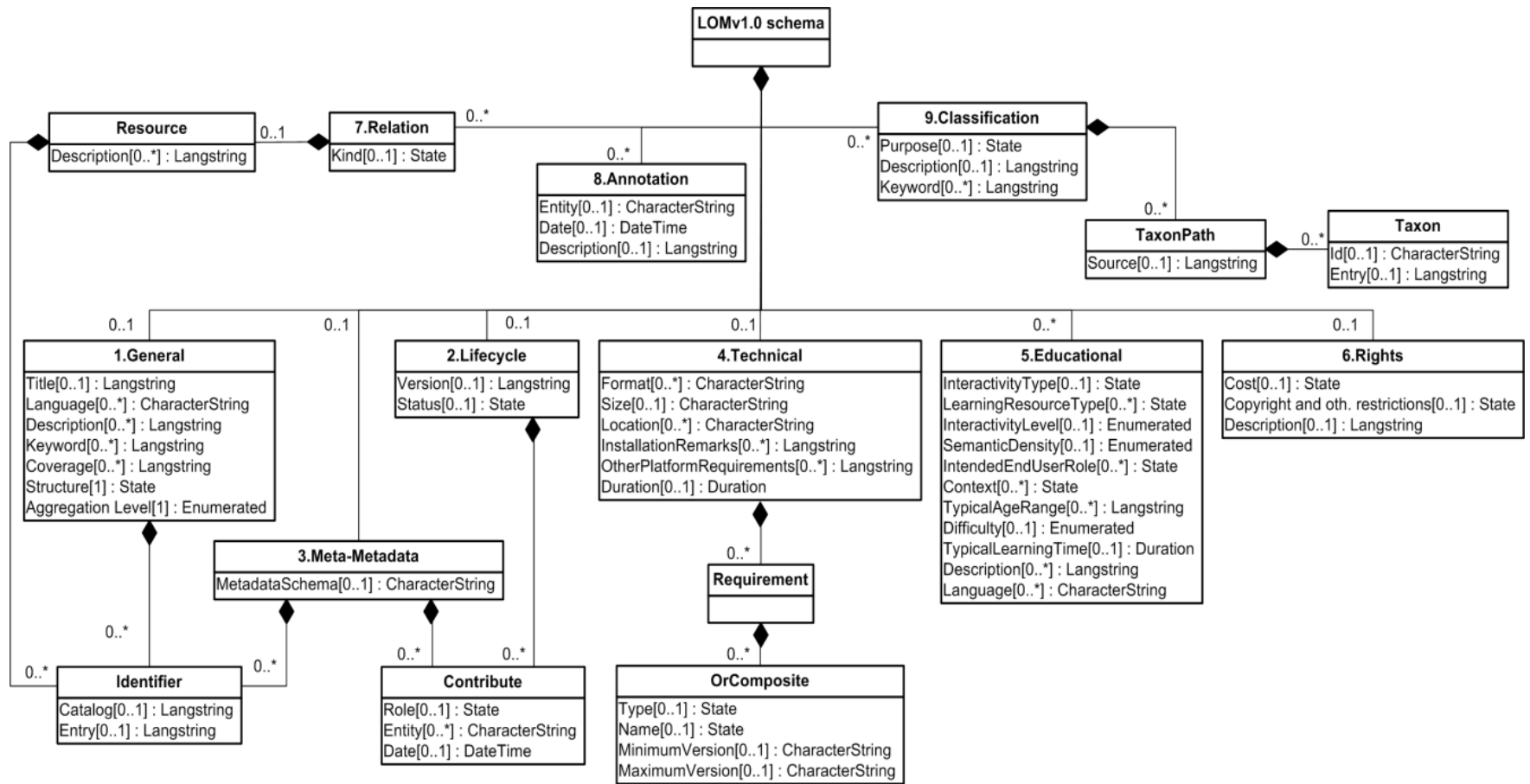
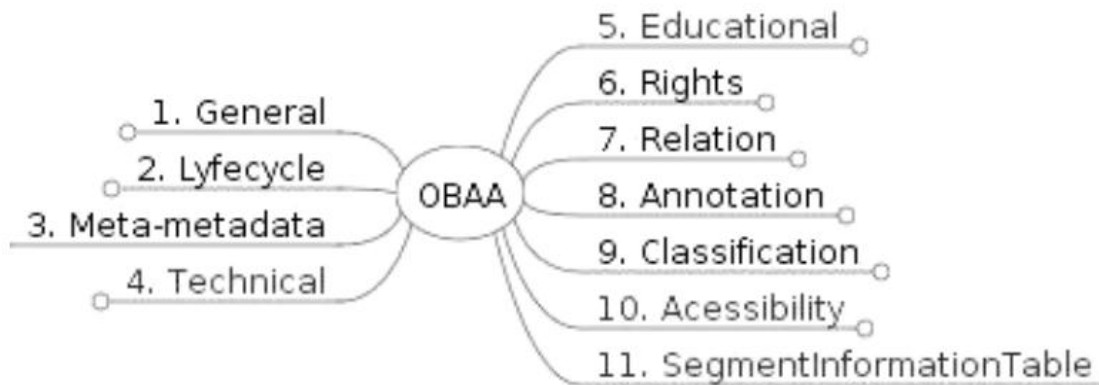


Figura 2-3: Modelo jerárquico del estándar IEEE-LOM. Tomado de (Learning Technology Standards Committee, 2002)



**Figura 2-4:** Estándar OBAA. Tomado de (Vicari et al. 2010)

## 2.6 Computación Ubicua y Dispositivos Móviles

La computación ubicua fue definida por primera vez en el artículo “The Computer for the 21st Century” como una computación robusta y transparente al usuario la cual permita tener acceso a sistemas desde lugares remotos (Weiser, 1999).

Este tipo de computación hace referencia a un nuevo paradigma de la informática en donde los dispositivos tecnológicos están presentes en la vida cotidiana del usuario. El objetivo de estos dispositivos es ayudar al usuario en el cumplimiento de sus tareas sin atender a su privacidad y ofrecer interfaces de interacción con los sistemas que sean amigables y fáciles de utilizar (Kinshuk & Sabine 2012). 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 brindan herramientas para el desarrollo de sistemas de recomendación personalizados enfocados a dispositivos móviles (Gómez et al. 2014) (Charitonos et al. 2012), dando paso a un nuevo paradigma en donde los usuarios cuentan con una gran gama de interfaces y dispositivos de comunicación con sistemas de información en donde el contexto del usuario juega un papel sumamente importante. Para ello se está haciendo uso de tecnologías y enfoques tecnológicos novedosos como agentes de software inteligentes, dispositivos inalámbricos, buscadores de información adaptativos y personalizados con el fin de crear modelos de recomendación computarizados.

Con base en lo anterior, el aprendizaje ubicuo (U-Learning) proporciona mecanismos de enseñanza omnipresentes en donde se ponen a disposición recursos virtuales y electrónicos, que se acceden a través de dispositivos portátiles o móviles (e.g. smartphones, tablets, PDA, etc.) los cuales ayudan a los estudiantes en tareas cotidianas de aprendizaje (Peng et al. 2007).

## 2.7 Sistemas Multi-Agente

Los Sistemas Multi-Agente (SMA) caracterizados por ser la técnica más utilizada actualmente de la inteligencia artificial distribuida, son definidos 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 (Shoham & Leyton-Brown 2008). Los agentes son entidades que poseen la suficiente autonomía e inteligencia como para poder encargarse de tareas específicas con poca o ninguna supervisión humana (Wooldridge 2009). 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 son entidades capaces de moverse a través de una red informática, ya sea LAN (Local Área 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 (Zhou & Gao, 2010). 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.

Las principales características que definen un agente de software son (Wooldridge 2009):

- **Autonomía:** capacidad para operar sin la supervisión de ningún actor humano.
- **Cooperación:** capacidad de intercambiar conocimientos, experiencias y planes para lograr un objetivo común.
- **Coordinación:** capacidad para coordinar tareas y distribuir responsabilidad para alcanzar los objetivos comunes.
- **Reactividad:** capacidad de reaccionar ante algún estímulo producido por el entorno.

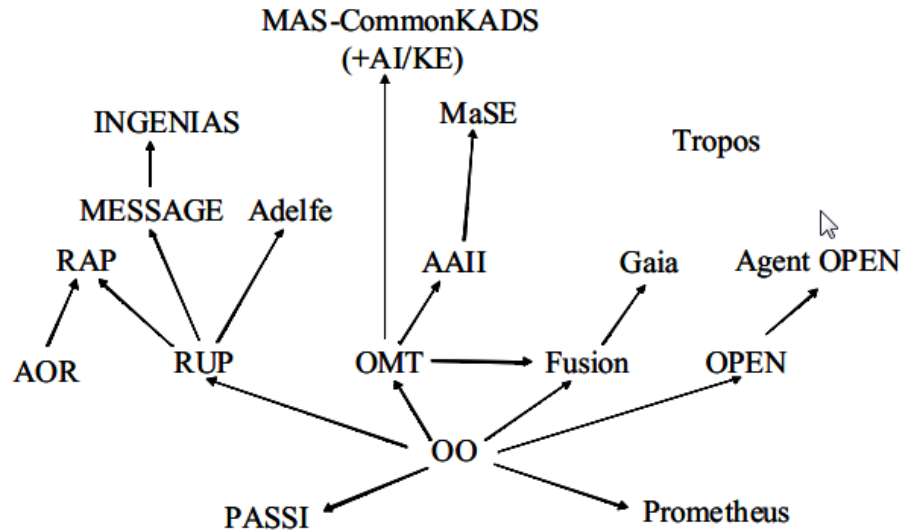
- **Proactividad:** capacidad de tomar iniciativa con el fin de ofrecer soluciones o recomendaciones.
- **Movilidad:** capacidad de moverse dentro de una red telemática.
- **Adaptatividad:** capacidad de adaptación a los cambios del entorno.
- **Veracidad:** capacidad para entregar siempre información verídica y de utilidad.
- **Paralelismo:** capacidad de ejecutar varias tareas simultáneamente.
- **Deliberación:** capacidad para tomar decisiones mediante el razonamiento.

Los SMA están siendo utilizados para dar solución a falencias relacionadas con entornos de aprendizaje, debido a que este tipo de entornos comprenden numerosas tareas que deben llevarse a cabo simultáneamente y este tipo de sistemas permite descomponerlas en sub-tareas con el fin de lograr objetivos comunes (Duque 2009).

### 2.7.1 Metodologías para el desarrollo de SMA

Existen numerosas metodologías para el desarrollo de SMA, muchas de las cuales se apoyan en el paradigma del desarrollo orientado a objetos, mientras que otras están basadas en ideas provenientes de la inteligencia artificial. La figura 2-5 presenta un panorama de las metodologías más utilizadas para el desarrollo de SMA (Giorgini & Henderson-Sellers 2005). Dentro de las más relevantes se puede resaltar la metodología MAS-CommonKADS ya que ofrece ventajas con respecto al planteamiento del desarrollo de modelos que reflejan diferentes perspectivas del SMA planteado (Henderson-Sellers et al. 2005). Adicionalmente, “ofrece un marco para la especificación del conocimiento independiente de la implementación, combinando un conjunto de modelos de conocimiento reutilizable para unas tareas que se realizan frecuentemente” (Jiménez et al. 2009). Igualmente, es importante mencionar la metodología GAIA, la cual no impone restricciones en la implementación, brindando al desarrollador la posibilidad de escoger tanto la estructura deseada como los modelos para su representación (Muñoz et al. 2010). Finalmente y entre las metodologías con más aceptación actualmente se encuentra Prometheus, la cual soporta el desarrollo de agentes inteligentes por usuarios no expertos, es práctica, completa y detallada (Giorgini & Henderson-Sellers 2005). A continuación se presenta una breve descripción de las metodologías previamente mencionadas:





**Figura 2-5:** Metodologías más utilizadas para el desarrollo de SMA y sus principales influencias. Tomada de (Giorgini & Henderson-Sellers 2005).

- MAS-CommonKADS:** esta metodología se destaca por su amplia aplicación de proyectos basados en conocimiento y por proceder de una base en el estándar conocido de CommonKADS. De igual manera, ofrece un conjunto de modelos que permiten estructurar el proceso de ingeniería de conocimiento, definiendo un proceso para su desarrollo, en el cual los modelos juegan un papel muy importante (Iglesias Fernández 1998). MAS-CommonKADS considera un ciclo de vida a partir de seis fases: Conceptualización, Análisis, Diseño, desarrollo, pruebas y operación. Sin embargo, cabe señalar que solo las tres primeras fases son consideradas dentro del ciclo de desarrollo de la metodología (ver figura 2-6).
- GAIA:** esta metodología es resultado de numerosos años de investigación, y es producto del aprendizaje de la falta de funcionalidades en otras metodologías (Giorgini et al. 2004). En la Figura 2-4 se pueden observar los modelos considerados por GAIA y sus equivalencias en el lenguaje AUML (Agent Unified Modeling Language) el cual permite entender y perfeccionar los modelos propuestos por GAIA centrándose en el uso de herramientas propuestas por UML con un enfoque basado en agentes. Considerando diagramas de clases, de interacciones, de estado y de actividades (Franco et al. 2007).

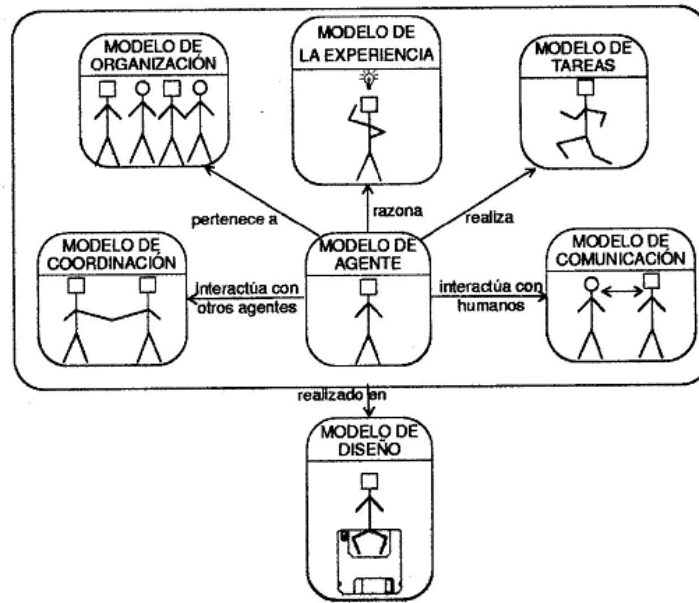


Figura 2-6: Modelos de MAS-CommonKADS. Tomado de (Giorgini & Henderson-Sellers 2005)

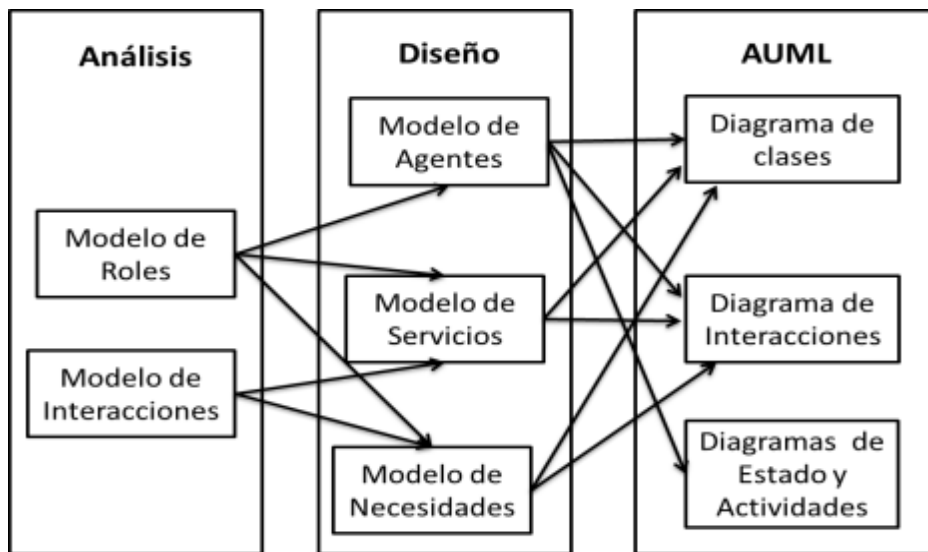


Figura 2-7: Modelos de la metodología GAIA y su correspondencia con diagramas AUMML. Adaptado de (James Odell 2000).

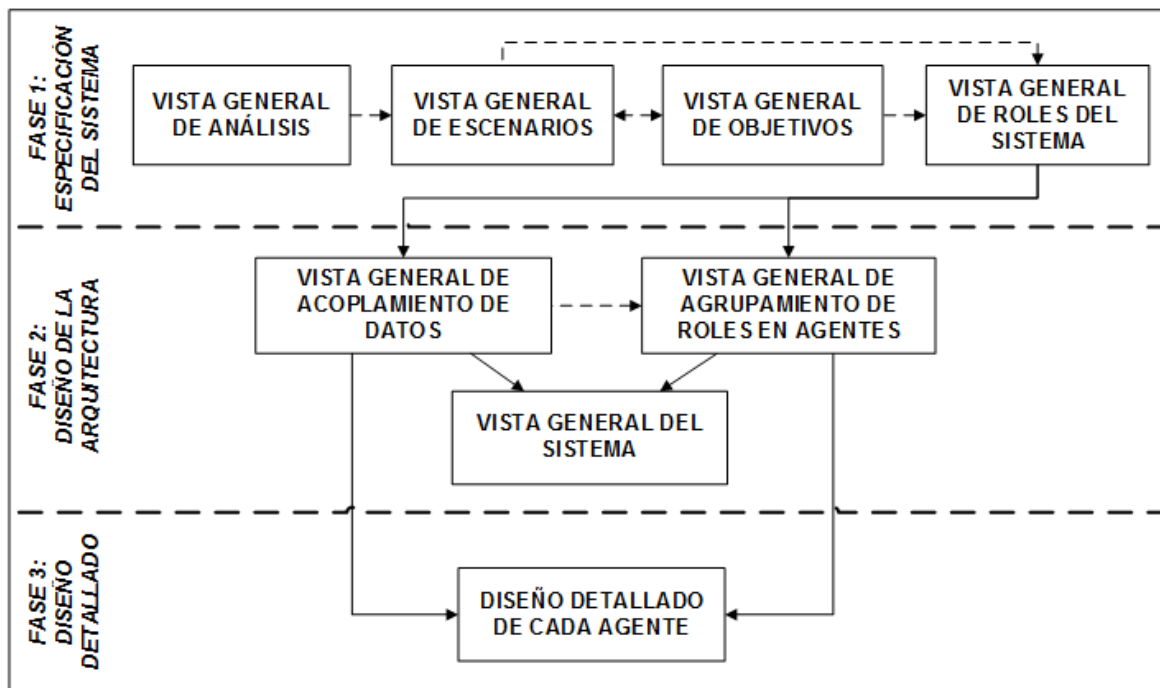
- PROMETHEUS:** esta metodología ofrece todo lo necesario para la definición y el diseño de agentes de software, considerando desde una gama de actividades para determinar los requisitos hasta objetivos y planes para desarrollar agentes robustos y flexibles (Carrera et al. 2014) (Giorgini & Henderson-Sellers

2005). Como se puede observar en la figura 2-8, Prometheus considera tres fases de diseño las cuales se detallaran a continuación (Padgham & Winikoff 2004):

- **Fase de 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. Los diagramas asociados a esta fase son:
  - ✓ **Vista general de análisis:** este diagrama pretende modelar las interacciones entre el sistema y el entorno, por esta razón, en este punto es necesario identificar inicialmente los actores y luego concentrarse en las percepciones y acciones que tiene cada actor con el sistema a partir de los escenarios identificados.
  - ✓ **Vista general de escenarios:** este diagrama esta interrelacionado con el de objetivos, por esta razón es necesario iterar en el desarrollo de estos dos diagramas. A cada escenario debe asociarse un objetivo general, el cual se busca alcanzar a partir de dicho escenario. El escenario debe ser descrito a partir de una serie de pasos detallados.
  - ✓ **Vista general de objetivos:** este diagrama es de alto nivel, es decir, no exhibe la estructura de control de un programa; este tan solo desarrolla un árbol jerárquico de objetivos a alcanzar a partir de los escenarios planteados previamente.
  - ✓ **Roles del sistema:** el diagrama final de esta fase, busca agrupar objetivos similares dentro de roles. Es importante controlar la granularidad de dichos roles puesto que en fases posteriores, varios roles podrán ser agrupados dentro de un mismo agente.
  
- **Fase de diseño de la arquitectura:** el propósito de esta fase es definir las interacciones entre los agentes del sistema a través de mensajes y protocolos de comunicación. Los diagramas asociados a esta fase son:
  - ✓ **Vista general de acoplamiento de datos:** el propósito de este diagrama es primero determinar qué fuentes de información se van a

utilizar dentro del SMA, para posteriormente determinar qué roles interactúan con dichas fuentes de información. Como fuente de información se pueden considerar desde archivos de texto plano hasta bases de datos u ontologías.

- ✓ **Vista general de agrupamiento de roles en agentes:** este diagrama pretende agrupar los diferentes roles del sistema en agentes de software. Es importante aclarar que un mismo agente puede tener roles distintos. Durante esta etapa también se debe considerar la cardinalidad de cada uno de los agentes identificados.
- ✓ **Vista general del sistema:** este diagrama es de mayor importancia en esta fase, puesto que detalla la estructura interna del sistema considerando los componentes identificados en diagramas anteriores; componentes como agentes, fuentes de información, percepciones, acciones, mensajes y protocolos de comunicación.



**Figura 2-8:** Fases de la metodología Prometheus. Adaptado de (Padgham & Winikoff 2004).

- **Fase de diseño detallado:** durante esta fase se describe la estructura interna de cada agente a partir de la definición de percepciones, acciones, planes,

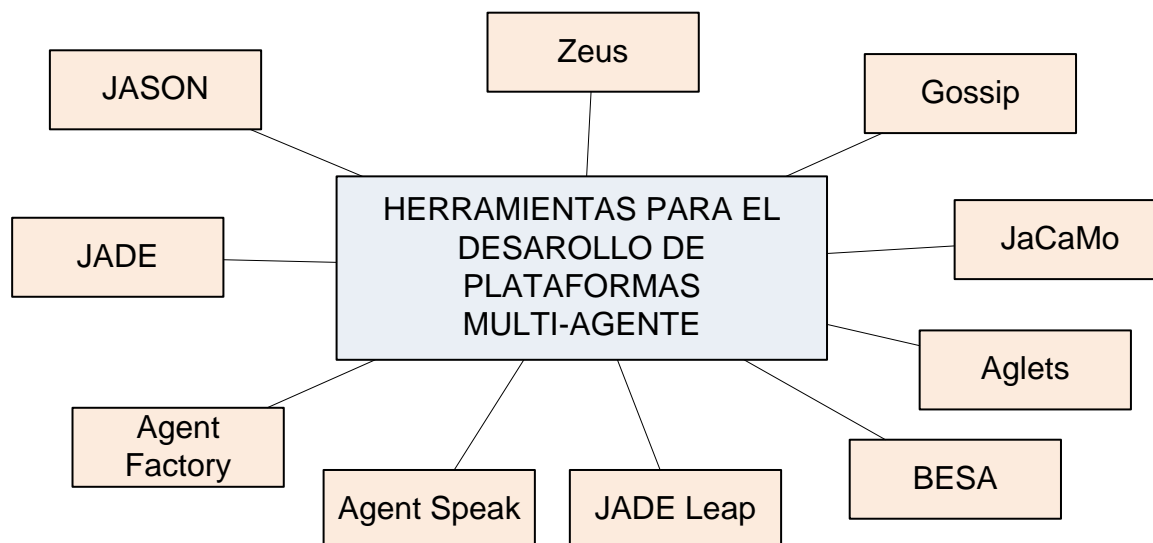
capacidades y fuentes de información. Los diagramas asociados a esta fase son:

- ✓ **Vista general del agente:** este diagrama define la estructura interna de cada agente identificado a partir de planes y capacidades.
- ✓ **Vista general de la capacidad:** a partir de este diagrama las capacidades pueden ser definidas a partir de planes, eventos o flujos de información.

### 2.7.2 Herramientas para la implementación de SMA

Al igual que las metodologías para el desarrollo de SMA, existen numerosas herramientas para su implementación. Estas herramientas permiten desplegar plataformas Multi-Agente que proporcionan mecanismos para (1) el despliegue y administración de agentes de software, (2) implementación de protocolos de comunicación y agentes móviles, (3) manejo de servicios y de ciclos de vida de los agentes. La figura 2-9 presenta un panorama de las plataformas Multi-Agente más reconocidas dentro de la comunidad. Algunas de las más importantes son:

- **JADE:** es un Framework desarrollado totalmente en JAVA, el cual se acoge a las especificaciones del estándar FIPA para el intercambio de información y la comunicación entre agentes. Adicionalmente, permite el despliegue de plataformas Multi-Agente a partir de una arquitectura basada en contenedores de agentes y brinda mecanismos para la búsqueda de servicios, la comunicación entre agentes a partir de ontologías y la movilidad; al igual que herramientas gráficas para la depuración y el desarrollo de SMA (Bellifemine et al. 1999).
- **JASON:** es una extensión de la reconocida plataforma AgentSpeak, que permite el desarrollo de agentes basados en la arquitectura BDI (Believes, Desires and Intentions). Las plataformas multi-agente desarrolladas a partir de esta herramienta tienen capacidad de distribución dentro de una red telemática y tiene capacidad de integración con otras herramientas, dado que se desarrolla en lenguaje JAVA (<http://jason.sourceforge.net/>).



**Figura 2-9:** Herramientas para el desarrollo de plataformas Multi-Agente.

- **JaCaMo:** Es un Framework para programación multi-agente que combina tres diferentes tecnologías, las cuales cuentan con una gran trayectoria en el desarrollo de SMA. JaCaMo es entonces una combinación de estas tres plataformas: JASON, Cartago y Moise, las cuales tiene como objetivo: programar agentes autonomos, programar artefactos de entorno y programar organizaciones multi-agente (<http://jacamo.sourceforge.net/>).

## 2.8 Web Semántica y Ontologías

Según Berners-Lee & Hendler, (2001) “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 (Kinshuk & Sabine 2012).

“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” (Tramullas 2006). Existen diferentes lenguajes para representar ontologías, el más utilizado es OWL, 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 (Berjon et al. 2008). 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 (Fermoso et al. 2008).

## **2.9 Conclusiones del capítulo**

El presente capítulo permitió definir los principales conceptos tales como: sistemas de e-learning adaptativos, sistemas de recomendación, perfiles de usuario, servicios de awareness, sensibilidad al contexto, SMA y ontologías; que serán utilizados a lo largo del desarrollo de la tesis, estableciendo una estructura lógica de los conceptos que soportan el modelo propuesto para ofrecer recomendaciones personalizadas de recursos educativos utilizando ontologías. El siguiente capítulo presenta los trabajos relacionados más relevantes que tratan temáticas afines a las áreas de investigación de esta tesis.





## 3.Estado del arte

Esta sección examina algunos trabajos de investigación afines a éste, contrastando las ventajas y desventajas de cada uno. La revisión de trabajos relacionados abordó dos frentes que se presentan a continuación:

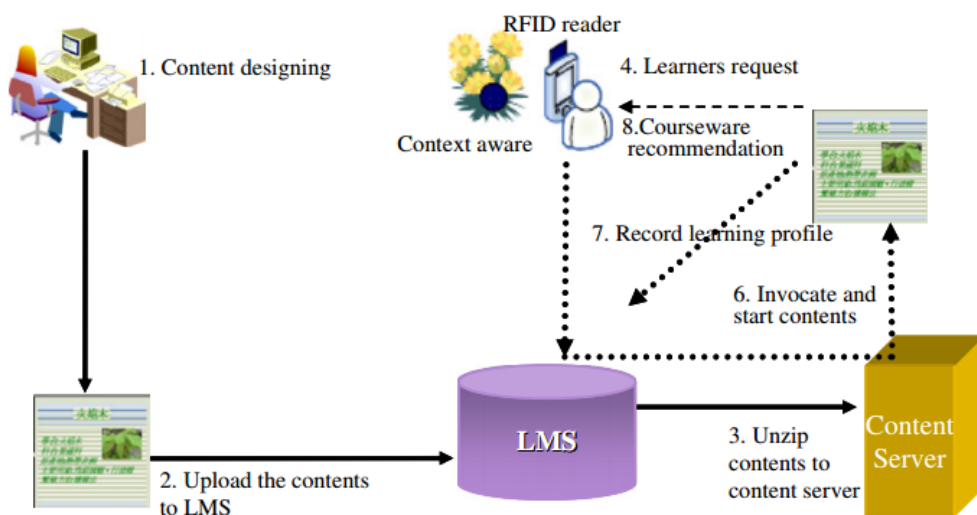
### 3.1 Primer frente

El primer frente apunta a trabajos relacionados con computación ubicua, sistemas de recomendación, búsqueda y selección de OA, planificación de CVA y sistemas sensibles al contexto.

- Wang & Wu (2011) proponen una plataforma basada en el estándar SCORM la cual incorpora tecnologías de sensibilidad al contexto y algoritmos de recomendación para el desarrollo de un modelo de referencia de u-learning. La plataforma integra identificadores de radio frecuencia (RFID), técnicas de filtrado colaborativo y un modelo de minería de reglas de asociación para la recomendación de cursos. Esto permite al sistema contar con cursos estandarizados y adaptativos para mejorar la efectividad en el aprendizaje de los estudiantes. Otra característica importante del sistema es la capacidad de obtener y actualizar los perfiles de los estudiantes de acuerdo a la retroalimentación que este genera de las recomendaciones realizadas por el sistema. La figura 3 -1 presenta el flujo del sistema el cual se inicia con el desarrollo de los contenidos, posteriormente son colgados en la plataforma del LMS (Learning Management System) de donde son recuperados para posteriormente presentarse al estudiante de acuerdo a las características del perfil de aprendizaje.

El módulo de recomendación de cursos consta de los seis procesos siguientes: la especificación de la granularidad, la creación del perfil del estudiante, la segmentación del perfil del estudiante para encontrar perfiles similares, la

detección de preferencias, la generación de la recomendación y por último la retroalimentación del alumno.



**Figura 3-1:** Flujo del sistema ubicuo de aprendizaje adaptativo. Tomado de (Wang & Wu 2011)

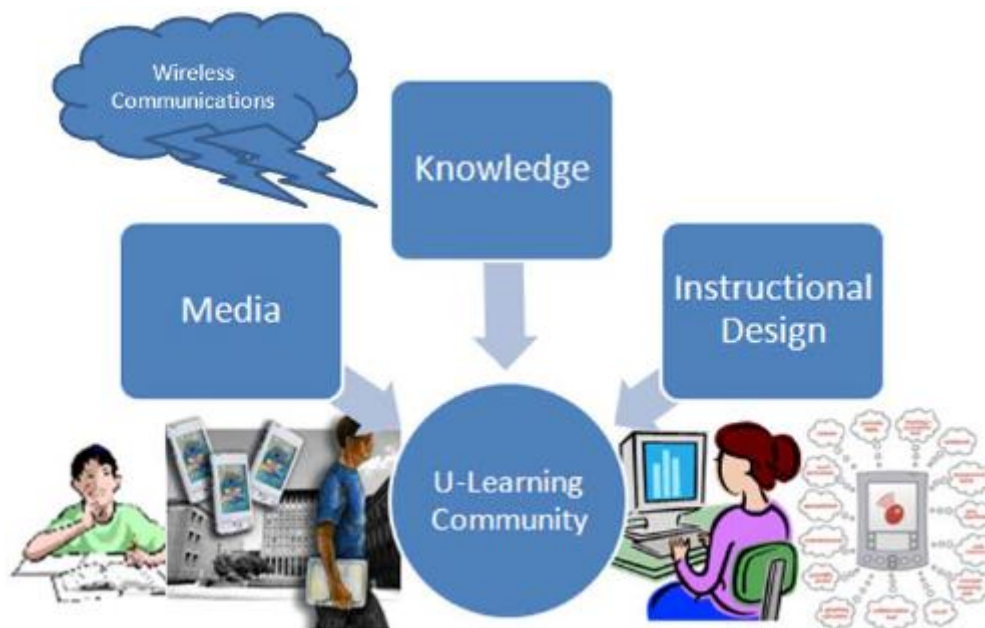
#### Fortalezas:

- ✓ Se basa en un estándar consolidado para la transmisión e intercambio de contenidos educativos.
- ✓ Utiliza perfiles de usuario e información del contexto para realizar recomendaciones que consideran los requisitos y preferencias del usuario.
- ✓ Posee mecanismos de retroalimentación por parte del estudiante, lo cual permite actualizar el perfil y mejorar la obtención de nuevas recomendaciones.
- ✓ Integra tecnologías RFID y minería de datos para la recuperación y posterior análisis de la información.

#### Limitaciones:

- ✓ No se tiene en cuenta información referente a las limitaciones de los estudiantes dentro de los perfiles de usuario.
- ✓ No definen una estructura semántica para la representación del conocimiento referente a los perfiles de usuario.
- ✓ No considera características tecnológicas del dispositivo al momento de realizar recomendaciones.

- Un modelo ubicuo de aprendizaje social e interactivo basado en redes de sensores inalámbricos es presentado en (Caytiles et al. 2011). Este modelo está orientado a la web y busca ayudar a los estudiantes a adquirir conocimiento y habilidades a través de la interacción con el ambiente de aprendizaje ubicuo. La propuesta incluye una comunidad web de u-learning donde se busca que los estudiantes puedan obtener conocimiento mientras interactúan con el entorno y realizan tareas cotidianas dentro del laboratorio o salón de clases. El modelo propuesto comprende tres repositorios (ver figura 3-2): un repositorio de conocimiento que comprende recursos relacionados con una amplia gama de dominios de conocimiento a través de diferentes materias como matemáticas, física, biología, ciencias sociales, lenguaje, etc. Otro repositorio de medios que proporciona medios de comunicación para apoyar la representación del conocimiento en u-Learning. Finalmente el repositorio de diseño instruccional que comprende el diseño de los módulos de aprendizaje ligados al dominio del u-Learning.



**Figura 3-2 :** Modelo de comunidad de u-Learning basado en redes de sensores inalámbricos. Tomado de (Caytiles et al. 2011).

**Fortalezas:**

- ✓ El modelo considera redes de sensores inalámbricos con el objetivo de facilitar la interacción entre los estudiantes y el entorno de aprendizaje.
- ✓ La comunidad de aprendizaje ubicuo permite la creación dinámica y la publicación de OA a partir de herramientas proporcionadas por el repositorio de medios.
- ✓ La comunidad de aprendizaje ubicuo también proporciona herramientas para la publicación de archivos, blogs, galería de fotos, envío de mensajes, foros, etc.

**Limitaciones:**

- ✓ A pesar de que permite el diseño de OA no permite la estructuración y/o planificación de CVA.
  - ✓ No se consideran perfiles de usuario para adaptar los contenidos a los gustos y limitaciones de los usuarios.
- 
- En la investigación de Hwang *et al.* (2009) se desarrolló un ambiente de u-learning sensible al contexto con el objetivo de orientar a investigadores inexpertos en operaciones de difracción de rayos X de un solo cristal. El ambiente de u-learning comprende un sistema experto instruccional, una base de datos de aprendizaje y una base de conocimiento estratégica. Cuando el estudiante ingresa al laboratorio o se coloca en frente de algún instrumento, una red de sensores identifica la posición del estudiante y la centraliza en un servidor, para posteriormente entregar información relevante que oriente al estudiante en el aprendizaje. Información relacionada con el manejo de los dispositivos, las reglas esenciales para trabajar en el laboratorio y los protocolos de emergencia. Los resultados experimentales que fueron arrojados por este trabajo mostraron que los beneficios de la aplicación de u-learning sensible al contexto en el marco de los experimentos científicos, genera más oportunidades para la práctica experimental, ahorrando en mano de obra para la asistencia y el seguimiento de los estudiantes.

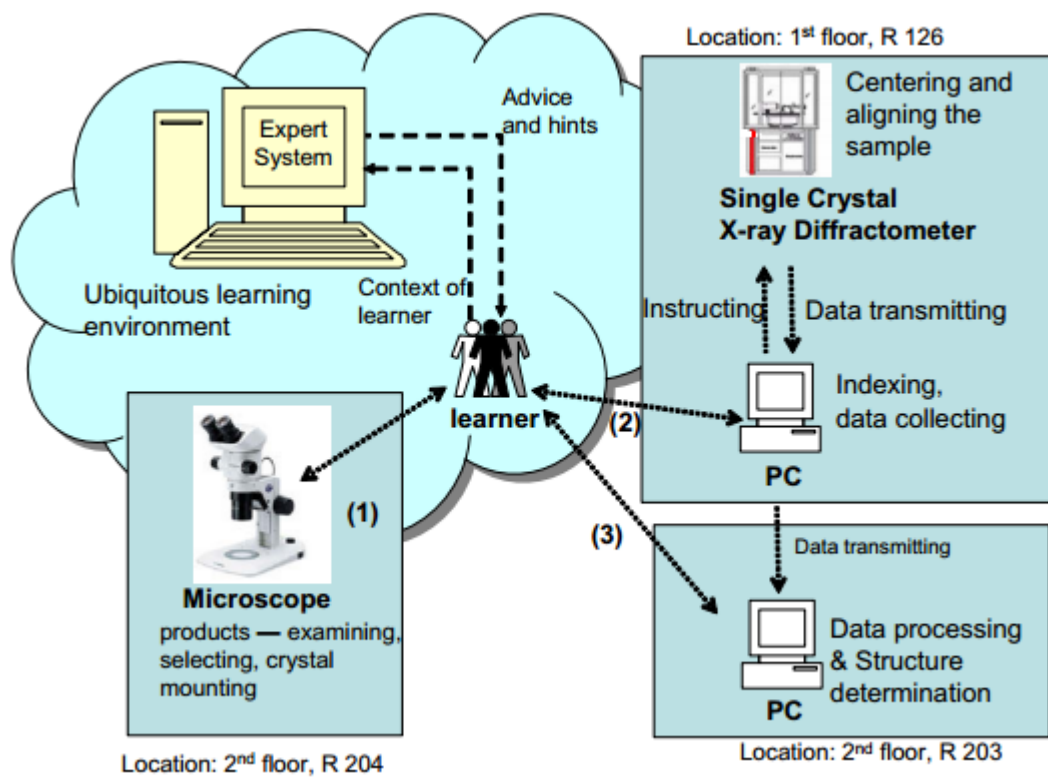
**Fortalezas:**

- ✓ Integra técnicas RFID y tecnologías de conexión inalámbrica para la obtención de datos del contexto y el soporte de comunicaciones.

- ✓ El sistema considera un sistema experto instruccional para acompañar a los estudiantes durante las prácticas de laboratorio.

**Limitaciones:**

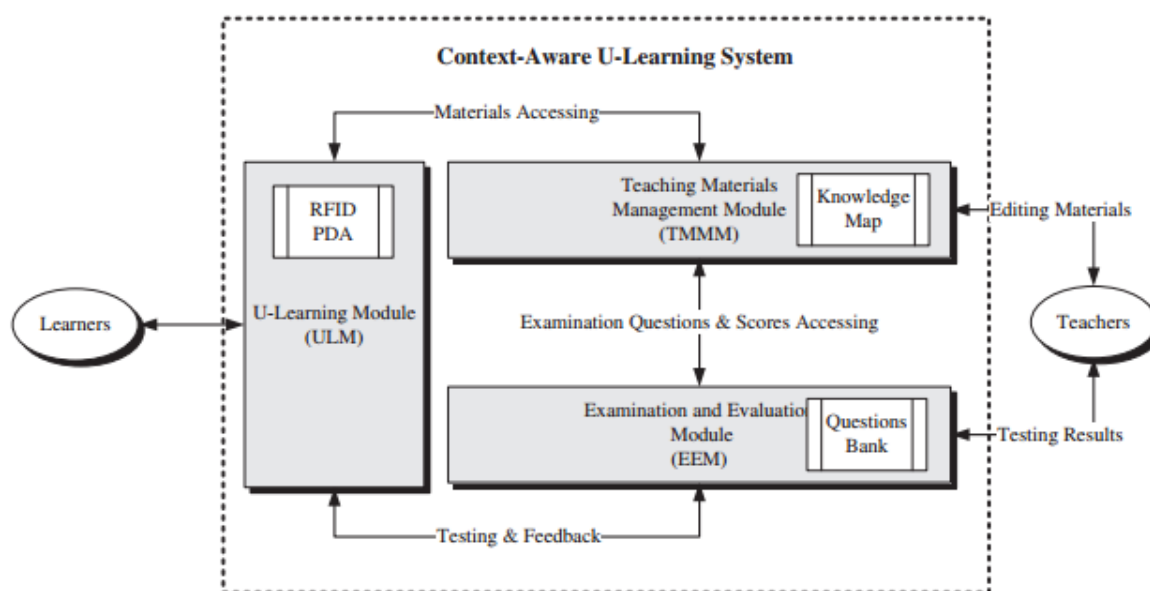
- ✓ El modelo se centra en una base de conocimiento referente a un dominio específico y no consideran un modelo instruccional genérico para ser aplicado a cualquier dominio.
- ✓ Las recomendaciones y sugerencias que realiza el sistema dependen de la correcta retroalimentación que realicen los estudiantes.



**Figura 3-3:** Ambiente de u-learning sensible al contexto para operaciones de difracción de rayos X de un solo cristal. Tomado de (Hwang et al. 2009)

- 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 por Chen & Huang (2012) para detectar y examinar los comportamientos de los estudiantes en un museo en Taiwan.

Como se puede observar en la figura 3-4 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 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.



**Figura 3-4:** Arquitectura de CAULS. Tomado de (Chen & Huang 2012)

Se realizó un caso de estudio que comprendía un cuestionario que podía ser resuelto a partir de información proporcionada por el sistema y la relación con el entorno. Los resultados experimentales demostraron que este enfoque innovador puede mejorar el aprendizaje. Por otra parte una encuesta realizada luego del cuestionario reveló que las puntuaciones de las pruebas mejoraron significativamente, lo que indica la eficacia del uso de este tipo de tecnologías en ambientes virtuales de aprendizaje.

#### **Fortalezas:**

- ✓ Los usuarios de CAULS concluyen que es un sistema amigable, útil y eficiente.

- ✓ El sistema reúne información contextual a partir de tecnologías RFID para brindar experiencias de aprendizaje dentro del museo.
- ✓ A partir de las recomendaciones que realiza el sistema los estudiantes pueden realizar las actividades de manera más ágil y comprendiendo mejor los conceptos asociados a la temática.

**Limitaciones:**

- ✓ El modelo no recomienda materiales adicionales en las temáticas para reforzar el aprendizaje.
  - ✓ El sistema no considera perfiles de usuario para conocer los gustos y preferencias al momento de presentar los contenidos a los estudiantes.
  - ✓ Las evaluaciones no son adaptativas, es decir todos los estudiantes deben resolver cuestionarios similares y aunque son aleatorios las preguntas pueden volverse repetitivas.
- 
- Ovalle et al. (2009) 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 re-presentación 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.

**Fortalezas:**

- ✓ Los estudiantes pueden tener un estado de conciencia de su estado dentro de los cursos virtuales en tiempo real.
- ✓ Los profesores por su parte pueden mantener un monitoreo continuo de las actividades y del avance de sus estudiantes dentro del curso.
- ✓ La información brindada por el sistema permite al profesor crear planes de contingencia para los estudiantes que presentan falencias en las evaluaciones del curso virtual.

**Limitaciones:**

- ✓ No se consideran perfiles de usuario para recomendar recursos de acuerdo a los servicios de awareness ofrecidos por el sistema.
  - ✓ El grafo de interacción solo considera la comunicación entre estudiantes y no permite observar la relación de éstos con asistentes o profesores.
- 
- Gómez et al. (2014) presentan un sistema móvil sensible al contexto de aprendizaje adaptativo y personalizado llamado UoLmP por sus siglas en inglés Units of Learning mobile Player. Este sistema tiene como objetivo principal el apoyar la adaptación semiautomática de actividades de aprendizaje desde dos puntos de vista: primero busca adaptaciones a la interconexión de las actividades de aprendizaje, es decir, el flujo de aprendizaje. El otro punto considera adaptaciones a los recursos educativos, herramientas y servicios de apoyo a las actividades de aprendizaje. UoLmP desarrolla una interfaz de usuario para la captura de información contextual como el nivel del ruido en el ambiente, los aspectos que el usuario desea mejorar, el lugar en el cual se encuentra, el tipo de recursos que desea acceder, etc. A partir de la captura de la información contextual del usuario el sistema tiene la capacidad de definir un flujo de actividades de aprendizaje a partir de la planificación de recursos adaptados al usuario.

**Fortalezas:**



- ✓ El sistema considera características del contexto en el cual se desenvuelve el estudiante.
- ✓ Se considera tanto el contexto de aprendizaje como el contexto móvil, reuniendo características importantes para mejorar el proceso de adaptación.
- ✓ El sistema tiene la capacidad de adaptar recursos a partir de la información contextual del usuario.
- ✓ El sistema brinda servicios para la comunicación entre usuarios al momento de realizar trabajos grupales.

**Limitaciones:**

- ✓ No se especifica una estructura semántica para la descripción de los conceptos ligados al contexto.
  - ✓ La captura de información contextual se realiza a partir de interfaces en donde el usuario debe ingresar la información, lo cual no evidencia mecanismos automáticos de extracción de la información contextual.
- 
- Lee *et al.* (2011) desarrollan un prototipo para dispositivos móviles con sistema operativo Android basado en interfaces adaptativas, el cual reúne características del contexto espacio-temporal de los usuarios para recomendar aplicaciones. Este sistema recopila características contextuales como el tiempo, la ubicación y el clima para aplicar filtros a las aplicaciones del dispositivo móvil y recomendar las que más se acomodan al usuario en ese instante de tiempo. De esta manera, el sistema anticipa las necesidades del usuario, garantizando el ahorro de tiempo en la búsqueda de las aplicaciones por parte de estos. Para implementar la interfaz de usuario adaptativa, se desarrolló un algoritmo de aprendizaje de máquina e inferencia espacio-temporal llamado estructura espacio-temporal de aprendizaje.



**Figura 3-5:** Diagrama conceptual de la interfaz de usuario adaptativa. Tomado de (Lee et al. 2011)

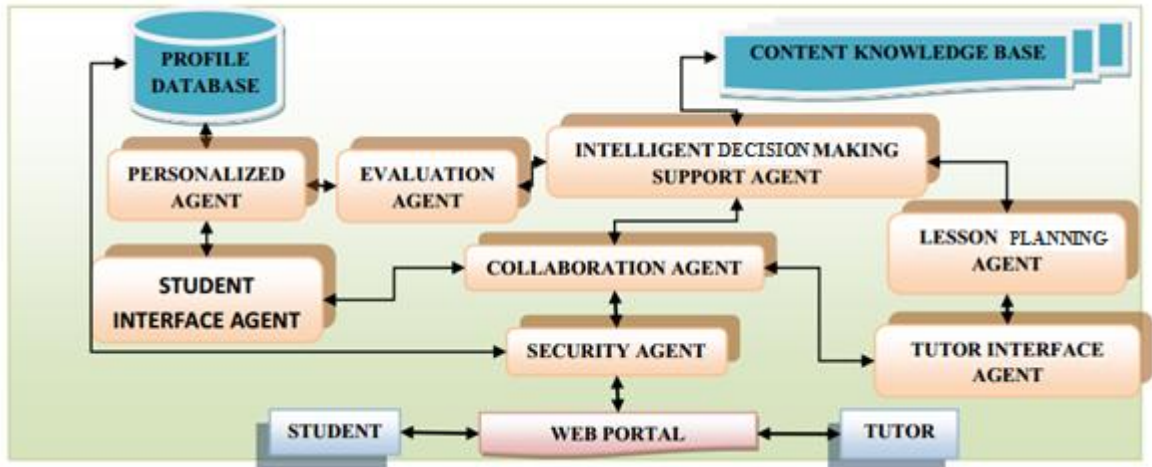
#### **Fortalezas:**

- ✓ El sistema tiene la capacidad de almacenar históricos de las actividades del usuario para mejorar sus recomendaciones.
- ✓ La captura de la información contextual es automática y en tiempo real.

#### **Limitaciones:**

- ✓ No se considera una estructura portable y extensible que permita representar no solo los perfiles de los usuarios sino también los recursos que se desean recomendar.
  - ✓ El sistema utiliza categorías muy genéricas para las aplicaciones y no menciona perfiles de usuario para conocer cuáles de esas aplicaciones ligadas a una única categoría se acomoda más a las necesidades o preferencias del usuario.
- Ahmad & Bokhari (2012) presentan un entorno de e-learning basado en una arquitectura multi-agente que considera características del estudiante para proporcionar material educativo adaptativo, el cual es diseñado por un profesor particular para apoyar el proceso de aprendizaje. El enfoque principal del sistema busca mejorar el nivel de seguridad y reducir la complejidad de la interacción del sistema a nivel de usuario. La figura 3-6 presenta la arquitectura del sistema la

cual considera ocho agentes que interactúan para realizar tareas de recomendación de recursos, asistencia en el diseño de nuevos materiales, evaluación del estudiante y administración de contenidos del curso.



**Figura 3-6:** Arquitectura Multi-Agente para un sistema de e-learning seguro e interactivo. Tomado de (Ahmad & Bokhari 2012)

#### Fortalezas:



- ✓ La arquitectura considera características de seguridad importantes y provee agentes para acompañar tanto a estudiantes como tutores en el entorno de e-learning.

#### Limitaciones:

























































- ✓ El sistema no considera información contextual de los estudiantes para realizar recomendaciones.
- ✓ El sistema no utiliza objetos de aprendizaje o recursos educativos previamente elaborados, por el contrario el tutor debe generar dichos recursos por sí mismo.
- ✓ El estudiante no cuenta con mecanismos de comunicación con otros estudiantes o tutores.

## 3.2 Síntesis primer frente

A continuación se presenta una síntesis de los trabajos relacionados con las temáticas de computación ubicua, sistemas de recomendación, búsqueda y selección de OA, planificación de CVA y sistemas sensibles al contexto. La tabla 3 -1 contrasta dichos trabajos en las características más relevantes utilizadas en estas temáticas, El ícono

indica que los autores incluyen el criterio o característica mencionado, el ícono  que no incluyen el criterio y el ícono de interrogación  expresa que los autores no fueron claros al momento de indicar si consideraban el criterio o no.

**Tabla 3-1:** Síntesis trabajos relacionados primer frente

Trabajo relacionado	Ubicuidad	Sensibilidad al contexto	Recomendación y Perfiles de usuario	Servicios de Awareness	SMA	Planificación de CVA y/o diseño instruccional	Ontologías
(Wang & Wu 2011)							
(Caytiles et al. 2011)							
(Hwang, Yang, Tsai, & Yang, 2009)							
(Chen & Huang, 2012)							
(Ovalle et al., 2009)							
(Gómez et al., 2014)							
(Lee et al., 2011)							
(Ahmad & Bokhari, 2012)							

### 3.3 Segundo frente

Los trabajos de investigación que se revisan a continuación corresponden a trabajos afines a la representación del conocimiento a partir de ontologías.

- Primo *et al.* (2013) utilizan técnicas de la Web semántica y ontologías para realizar recomendaciones de OA. Este trabajo propone la representación de los metadatos descriptivos de OA a partir de ontologías utilizando el lenguaje OWL; esta característica permite la interoperabilidad entre distintos sistemas o plataformas. Como se puede observar en la figura 3-7, la representación del conocimiento consignado en los metadatos es mapeado a la ontología utilizando

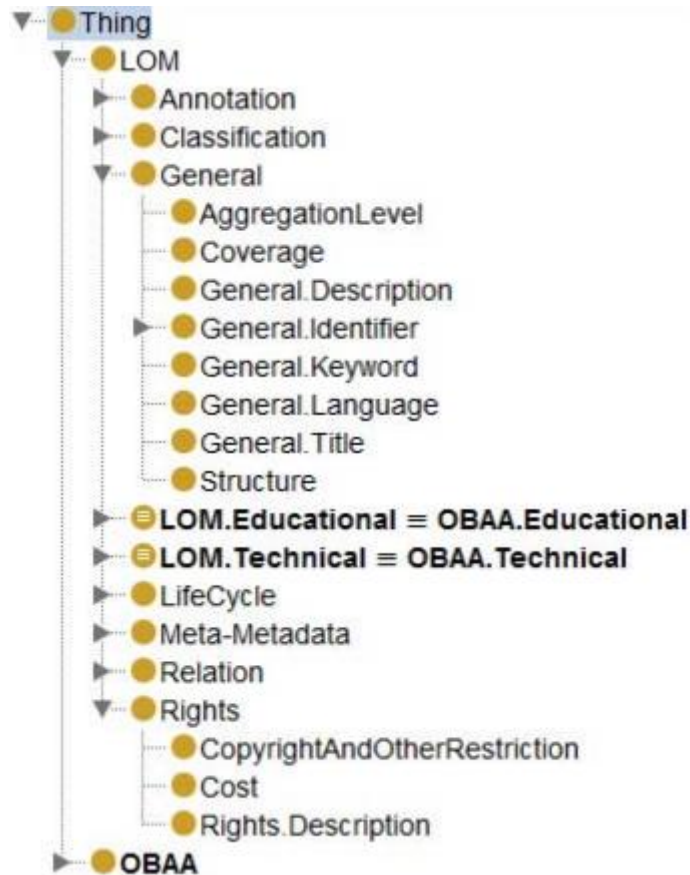
el estándar brasileño de metadatos OBAA (Objetos de Aprendizagem Baseados em Agentes).

**Fortalezas:**

- ✓ La investigación propone una ontología para la representación no solo de metadatos sino también de los perfiles de los usuarios.
- ✓ La ontología considera conceptos tanto del estándar IEEE-LOM como del estándar OBAA.

**Limitaciones:**

- ✓ No es muy claro el mecanismo utilizado para realizar inferencias a partir de la ontología.
- ✓ No existe un prototipo funcional aún para evaluar las recomendaciones realizadas utilizando la ontología.



**Figura 3-7:** Ontología para el mapeo de los conceptos del estándar OBAA. Tomado de (Primo et al. 2013)

- Un modelo ontológico para la descripción de OA bajo el estándar IEEE LOM es propuesto en (Fermoso et al. 2008). La ontología fue denominada LOM2OWL y utiliza el lenguaje OWL para su representación. El principal objetivo de esta investigación fue representar los OA a través de un lenguaje semántico que permitiera mejorar la búsqueda, reutilización y uso de los OA, sin importar si dichos recursos están organizados en un repositorio específico o si están dispersos en la Web.

**Fortalezas:**

- ✓ El trabajo incorpora una ontología para el mapeo del estándar IEEE-LOM.
- ✓ La ontología facilita las tareas de búsqueda, reutilización y localización de los OAs en los repositorios.

**Limitaciones:**

- ✓ La ontología no considera características que describan los gustos o necesidades de los usuarios a quienes van orientados los OAs.

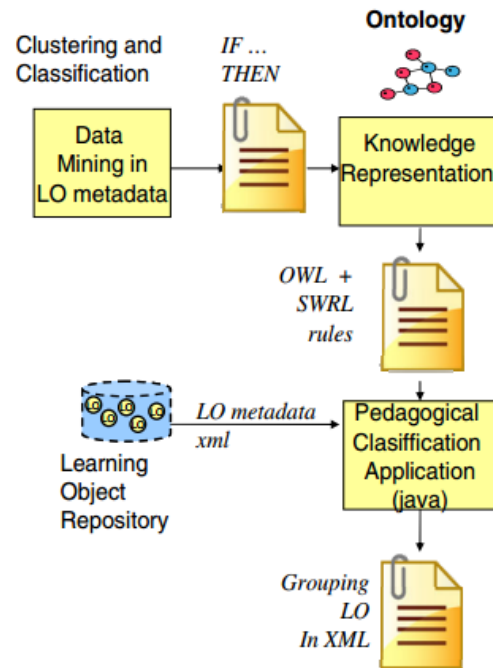
- LOSO es una ontología propuesta por Vidal et al. (2010) para la búsqueda y selección de contenidos educativos utilizando reglas SWRL. La ontología fue desarrollada a partir de conocimiento descubierto aplicando técnicas en minería de datos en diferentes repositorios de OAs. La funcionalidad principal que exhibe LOSO es la clasificación de OAs de acuerdo con necesidades instruccionales (ver figura 3-8).

**Fortalezas:**

- ✓ La ontología LOSO permite la clasificación de OAs a partir de reglas SWRL.
- ✓ El trabajo integra técnicas de la web semántica con minería de datos para la extracción de metadatos en los ROAs.
- ✓ La ontología se acoge al estándar IEEE-LOM.

**Limitaciones:**

- ✓ El trabajo no considera perfiles de usuario para extraer las características de los estudiantes al momento de realizar el diseño instruccional.



**Figura 3-8:** Proceso de clasificación de OA utilizando la ontología LOSO. Tomado de (Vidal et al. 2010)

- Garcés *et al.* (2009) utilizan estándares de metadatos y ontologías con el fin de desarrollar un portal Web a través del cual se puedan publicar y recuperar recursos educativos orientados al dominio de la agricultura orgánica y la agroecología. Para construir el repositorio semántico se utilizó el estándar IEEE-LOM, buscando una representación uniforme de los recursos para posteriormente realizar recolección selectiva de metadatos (Harvesting) a través de la ontología.




**Fortalezas:**

- ✓ El uso de la ontología otorga la posibilidad de realizar consultas distribuidas, adicionalmente permite estandarizar los nuevos registros insertados en el repositorio.
- ✓ La ontología se acoge al estándar IEEE-LOM.

























**Limitaciones:**

- ✓ El trabajo solo considera la estandarización de recursos a partir de ontologías y no realiza inferencias a partir de ésta con el fin de realizar recomendaciones o proporcionar un diseño instruccional.

## Síntesis segundo frente

A continuación se presenta una síntesis de los trabajos relacionados con la representación del conocimiento referente a cursos virtuales y e-learning utilizando ontologías. La tabla 3 -2 contrasta dichos trabajos en las características más relevantes utilizadas en estas temáticas, El ícono  indica que los autores incluyen el criterio o característica mencionado, el ícono  que no incluyen el criterio y el ícono de interrogación  expresa que los autores no fueron claros al momento de indicar si consideraban el criterio o no.

**Tabla 3-2:** Síntesis trabajos relacionados segundo frente

Trabajo relacionado	Representación de estándares de metadatos de OAs	Planificación de CVA y/o diseño instruccional	Representación de perfiles de usuario	Inferencias a partir de reglas SWRL	Inferencias a partir de SPARQL	Uso de ontologías en dispositivos móviles
(Primo et al., 2013)						
(Fermoso et al., 2008)						
(Vidal et al., 2010)						
(Garcés et al. 2009)						

## 3.4 Conclusiones del capítulo

La revisión del estado del arte demuestra que las temáticas asociadas a la investigación están siendo cada vez abordadas y que las técnicas y líneas de investigación propuestas están vigentes. Adicionalmente, se logró evidenciar que las investigaciones reportadas previamente tiene grandes fortalezas que ayudan a esclarecer los avances que se han llevado a cabo dentro del campo de investigación. Sin embargo, también presentan falencias que deben ser abordadas para mejorar los entornos de aprendizaje personalizados y ubicuos. Estas falencias radican principalmente en la ausencia de una estructura de representación semántica para el conocimiento relacionado con el dominio del u-learning, los perfiles de usuario y el diseño instruccional de cursos. Otra falencia notoria y que evidencia grandes porcentajes de deserción en los CVA es la falta de adaptación de recursos educativos a los perfiles de usuario de los estudiantes. Con base



en esto el siguiente capítulo pretende proponer un modelo de SMA ubicuo, adaptativo y sensible al contexto para ofrecer recomendaciones personalizadas de recursos educativos a partir de ontologías. El modelo propuesto busca adicionalmente considerar las fortalezas y algunas de las técnicas que utilizan los trabajos, al igual que tener en cuenta otras técnicas que pueden ser de utilidad para mejorar la efectividad de este tipo de modelos en los entornos de aprendizaje virtuales.



## **4. Modelo Propuesto**

En este capítulo se presenta el modelo propuesto para el SMA ubicuo, adaptativo y sensible al contexto el cual permite ofrecer recomendaciones personalizadas de recursos educativos. Inicialmente se presenta una caracterización de los conceptos que definen un sistema de u-learning para CVA tales como recursos educativos, perfiles de usuario, e información contextual. Luego de la caracterización de dichos elementos se presenta la representación ontológica realizada para la descripción semántica de los conceptos. A partir de la ontología obtenida se presentan los mecanismos de inferencia utilizados para realizar la planificación instruccional, la recomendación de los recursos y los servicios de awareness. Finalmente, se integran todas las herramientas desarrolladas y los conceptos caracterizados para dar forma al modelo multi-agente que será implementado y validado en el siguiente capítulo.

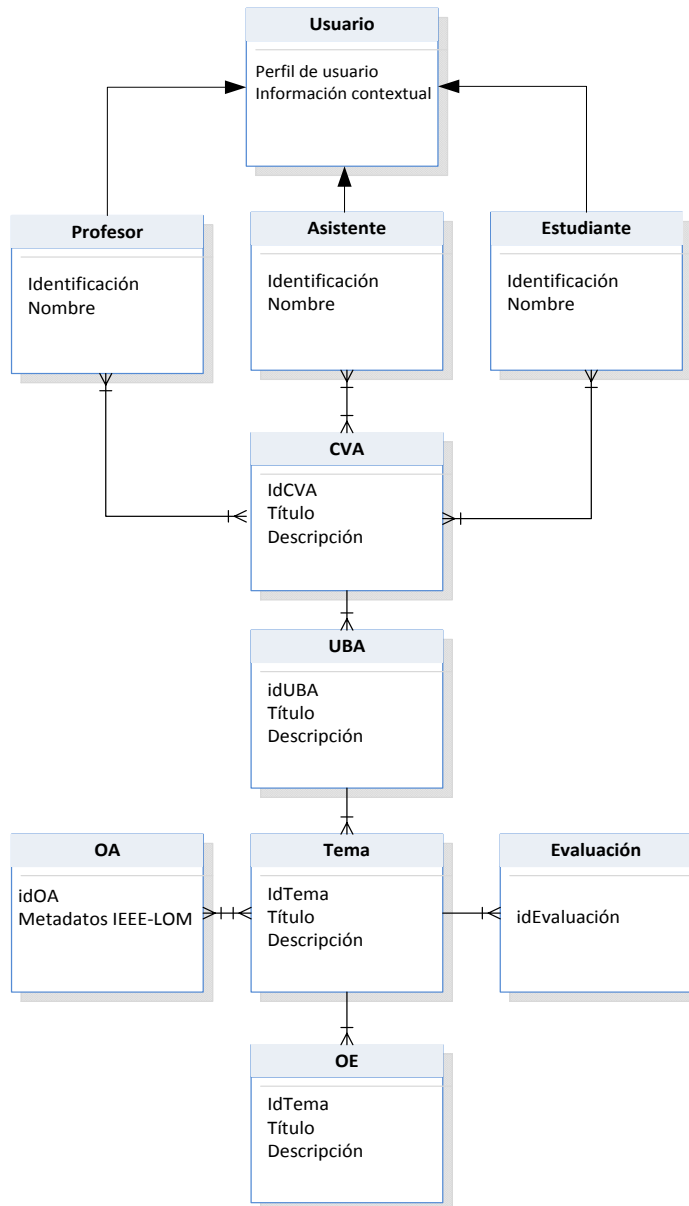
### **4.1 Caracterización de conceptos asociados al sistema de u-learning**

En esta sección se caracterizan los conceptos asociados al dominio del SMA de u-learning, para este fin se elaboró un meta-modelo el cual integra los diferentes modelos que se expondrán a continuación.

#### **4.1.1 Modelo para la representación de CVA y de recursos educativos**

Los CVA son sistemas de e-learning que permiten la personalización de los procesos de enseñanza-aprendizaje a través de la interacción entre el estudiante y el profesor (Brusilovsky & Peylo 2003), de esta forma se hace necesario definir una estructura de representación de los conceptos representativos asociados a los CVA.

Arias (2009) propone en su tesis de maestría un modelo de dominio en donde se especifica la estructura de los CVA y la base de conocimiento asociada a cada curso. Esta tesis extendió este modelo con el fin de definir más puntualmente no sólo la estructura de los CVA sino también, los recursos educativos que son asociados a cada uno de estos. El modelo extendido para la representación del conocimiento asociado a los CVA considera por lo tanto los siguientes elementos:



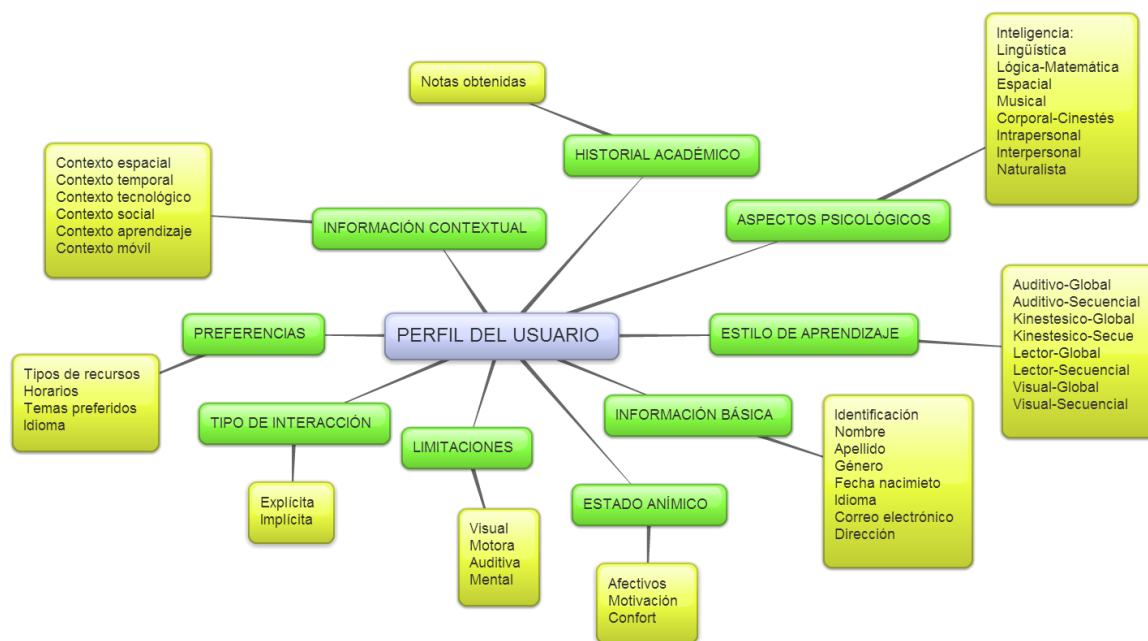
**Figura 4-1:** Modelo para la representación de CVA y de recursos educativos.

- **Curso Virtual Adaptativo (CVA):** estudio sobre una materia, desarrollada con unidad conceptual. Estos representan un marco en el cual los distintos protagonistas del proceso (profesores, monitores y alumnos) pueden interactuar entre sí de forma instantánea, en cualquier momento y desde cualquier lugar.
- **Unidad Básica de Aprendizaje (UBA):** pueden verse como una subdivisión de los cursos y son similares a los capítulos de un libro. Una UBA no puede ser evacuada en una sola sesión de un curso (Arias, 2009).
- **Tema:** Cada una de las unidades de contenido en que se divide un programa de estudios o un libro de texto (Arias, 2009).
- **Objetivo Educativo (OE):** demuestran la intención del maestro sobre lo que los estudiantes deben aprender. Un objetivo educativo se alcanza mediante la realización de actividades educativas y las evaluaciones correspondientes (Duque, 2009).
- **Objeto de Aprendizaje (OA):** recurso digital educativo el cual es descrito a partir de metadatos, característica que permite su reutilización, migración, recuperación y recomendación.
- **Evaluación:** mecanismo mediante el cual se valora el desempeño de un estudiante dentro de un CVA, permitiéndole avanzar en el proceso de aprendizaje mediante la habilitación de nuevos contenidos educativos.

La figura 4-1 presenta el modelo final para la representación del conocimiento ligado a los CVA y a los recursos educativos. Es importante aclarar que cualquier entidad que apoye el proceso de aprendizaje por parte de los estudiantes es considerado en este sistema como un recurso educativo, con base en esto los OA, los asistentes y los eventos académicos son considerados recursos educativos. La estructura jerárquica del modelo presenta como la entidad más general a los CVA, los cuales a su vez tienen asociados profesores, estudiantes y asistentes especializados en las temáticas de éste. Los CVA se descomponen en UBA las cuales permiten agrupar los temas o tópicos a tratar durante el CVA. Adicionalmente un tema plantea unos OE a alcanzar a partir de las evaluaciones realizadas a los estudiantes, es decir, éstos OE pueden irse cumpliendo a medida que las evaluaciones sean superadas. Los temas a su vez están compuestos de OA, los cuales definen el diseño instruccional del curso a partir de la planificación adaptativa que será presentada posteriormente.

### 4.1.2 Modelo para la representación de los usuarios

Este modelo permite la representación de cada uno de los conceptos que componen el perfil del usuario. El modelo anterior de CVA y recursos educativos comprende una entidad denominada usuario de la cual heredan los tres roles identificados en el dominio del sistema (estudiantes, profesores y asistentes). La figura 4-2 presenta las características generales para definir perfiles de usuario, las cuales fueron identificadas tras la revisión del estado del arte (Arias 2009) (Rugeles 2014) (Rodríguez 2013) (Restrepo 2012) (Gómez et al. 2014). Este modelo permitirá la adaptación de los contenidos, la planificación instruccional de CVA y la recomendación de recursos educativos, por ésto es necesario incluir en el perfil atributos como el estilo de aprendizaje, las preferencias, las limitaciones, la información contextual que será detallada en la siguiente sección, la información básica y el historial académico.



**Figura 4-2:** Caracterización de los conceptos referentes al perfil del usuario.

A partir de los conceptos caracterizados para representar el perfil de usuario, se realizó un proceso de filtrado para definir cuáles de dichos conceptos se debían considerar para el desarrollo de las funcionalidades del sistema. El modelo final obtenido para la representación de los usuarios en el sistema es presentado en la figura 4-3. A continuación se detalla cada una de las categorías y sus atributos.

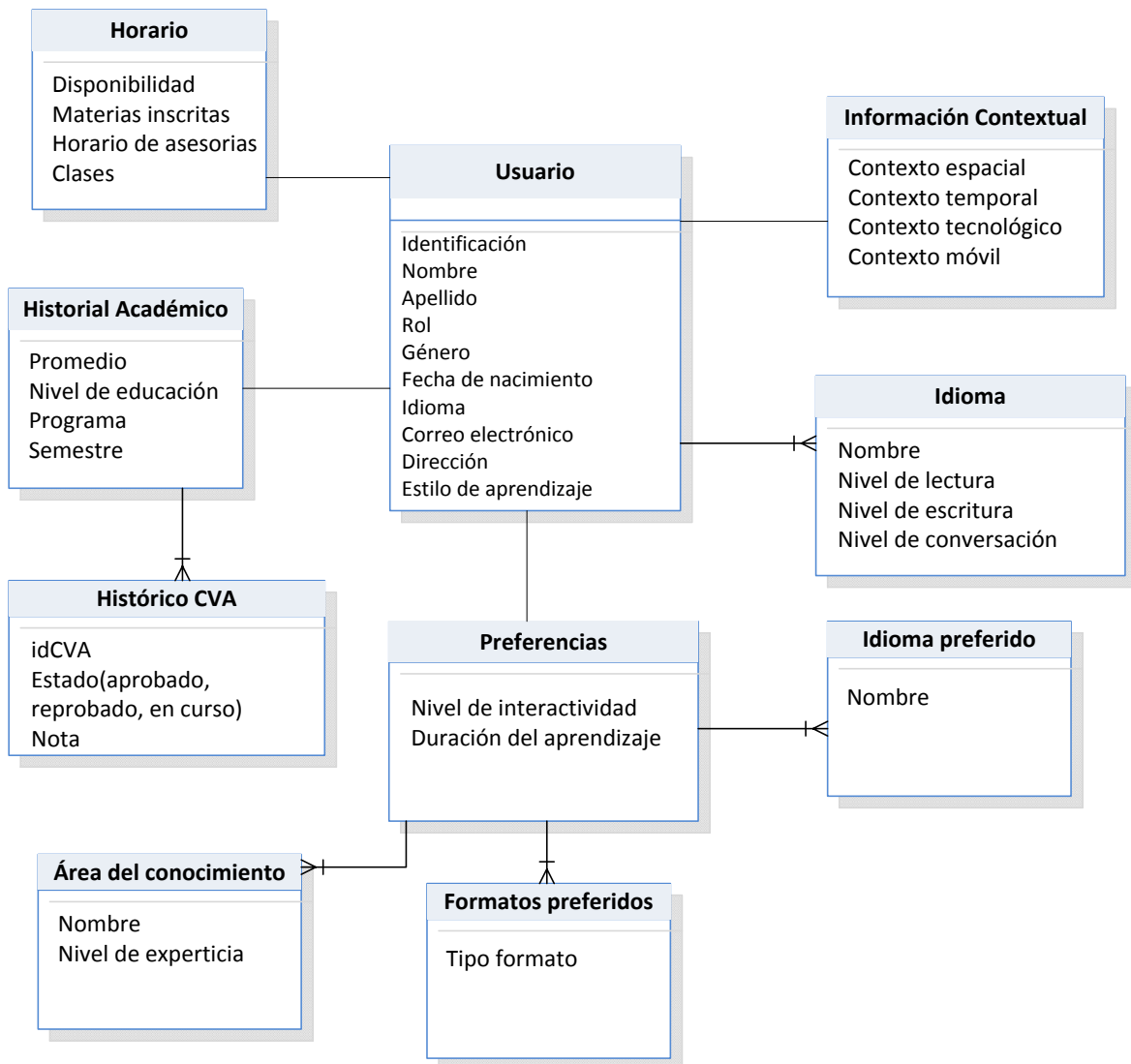


Figura 4-3: Modelo del perfil del usuario.

- **Usuario:** esta entidad contiene además de la información básica del usuario, su estilo de aprendizaje.
- **Preferencias:** las preferencias determinan características intrínsecas del usuario, como son: los idiomas, los tipos de formato, las áreas de conocimiento, el nivel de interactividad y la duración del aprendizaje.
- **Información contextual:** esta entidad permite representar la información del contexto en el cual se desenvuelve el usuario, la cual es útil para adaptar los contenidos y realizar recomendaciones. Esta entidad es detallada en la siguiente sección.

- **Historial académico:** determina las notas obtenidas por los estudiantes durante su proceso de aprendizaje, lo cual permite identificar falencias y reforzar conocimientos.

### 4.1.3 Modelo para la representación del contexto

El contexto puede ser definido como cualquier información que permita caracterizar la situación actual de una entidad (Dey 2001). Sin embargo, en el contexto del aprendizaje virtual se define como la situación actual del entorno de una persona durante la interacción con una actividad de aprendizaje (Luckin 2010). El contexto entonces, permite describir el entorno actual de aprendizaje que tiene el estudiante con el fin de adaptar recursos educativos y realizar recomendaciones personalizadas de mejor manera. Algunos autores consideran que el contexto puede dividirse en dos categorías: el contexto de aprendizaje y el contexto móvil (Siadaty et al. 2008), mientras que otros consideran mayor número de categorías. A través de la figura 4-4 se representa la estructura general del contexto integrando las propuestas de diversos autores.

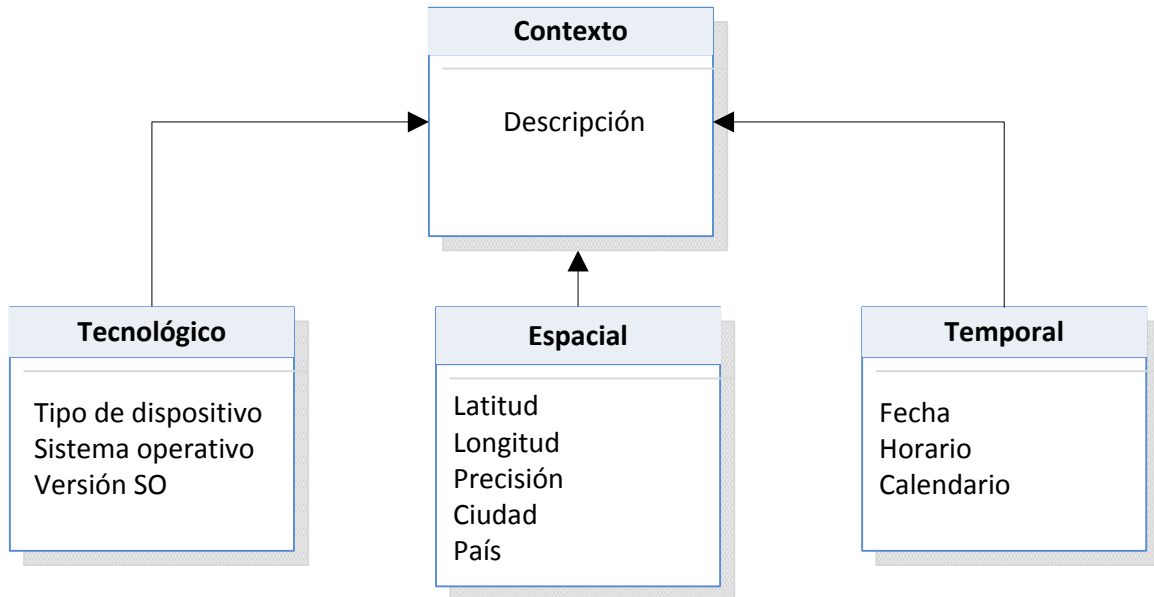


**Figura 4-4:** Caracterización general del modelo contextual del usuario.

De manera análoga al proceso que se realizó con el perfil del usuario y a partir de las categorías identificadas para representar el contexto del usuario, se filtraron las características más importantes con el objetivo de abordar las funcionalidades ofrecidas por el sistema (ver figura 4-5). Se definieron tres categorías para representar la información contextual: espacial, temporal y tecnológico. El contexto espacial permite recuperar información referente a la ubicación del usuario, el contexto temporal define la



fecha, el calendario y el horario del usuario y el contexto tecnológico representa las características del dispositivo de acceso del usuario.



**Figura 4-5:** Modelo delimitado del contexto del usuario.

## 4.2 Representación ontológica de los elementos caracterizados

El proceso de desarrollo ontológico es análogo al proceso de desarrollo de aplicaciones de software tradicionales, según (Noy & McGuinness 2001): “No existe una manera única y correcta de modelar un dominio, el desarrollo ontológico es un proceso iterativo y los conceptos de la ontología deberán reflejar lo más fielmente posible a los objetos y relaciones del dominio”.

A partir de esto, existen actualmente numerosas metodologías para el desarrollo de ontologías las cuales proporcionan una gama 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 la ontología. Una de las metodologías más reconocidas y utilizadas es Methontology (Corcho et al. 2005), la cual fue seleccionada para el desarrollo de la ontología ligada a la presente tesis. Esta metodología define un proceso de desarrollo iterativo que consta de cinco fases, permitiendo el desarrollo de ontologías a nivel de conocimiento (ver figura 4-6).



**Figura 4-6:** Proceso de desarrollo Methontology. Adaptado de (Benjamins et al. 2005)

A continuación se presentan las fases de especificación, conceptualización, formalización e implementación de la ontología desarrollada para representar el conocimiento caracterizado en las secciones previas, referente a CVA, estándares de metadatos de OA, información contextual y perfil del usuario. Dicha ontología fue concebida inicialmente solo para la planificación de CVA y denominada PCVAOntology (Planificación de Cursos Virtuales Adaptativos Ontology), la cual se presenta en (Salazar et al., 2014). Para el objetivo de esta tesis fue necesario extender el alcance inicial de la ontología con el fin de abarcar todos los objetivos asociados a esta tesis.

### 4.2.1 Fase de especificación

Esta fase considera la definición del alcance, los objetivos, el propósito, el nivel de formalidad y los usuarios finales de la ontología (Ramos & Nuñez, 2007).

- **Alcance**

La ontología PCVAOntology tiene como alcance el generar una descripción semántica que permita representar la estructura taxonómica de CVA y de metadatos de OAs, además de considerar el perfil y la información contextual del usuario.

- **Objetivos**

Los objetivos identificados para el desarrollo de la ontología PCVAOntology son:

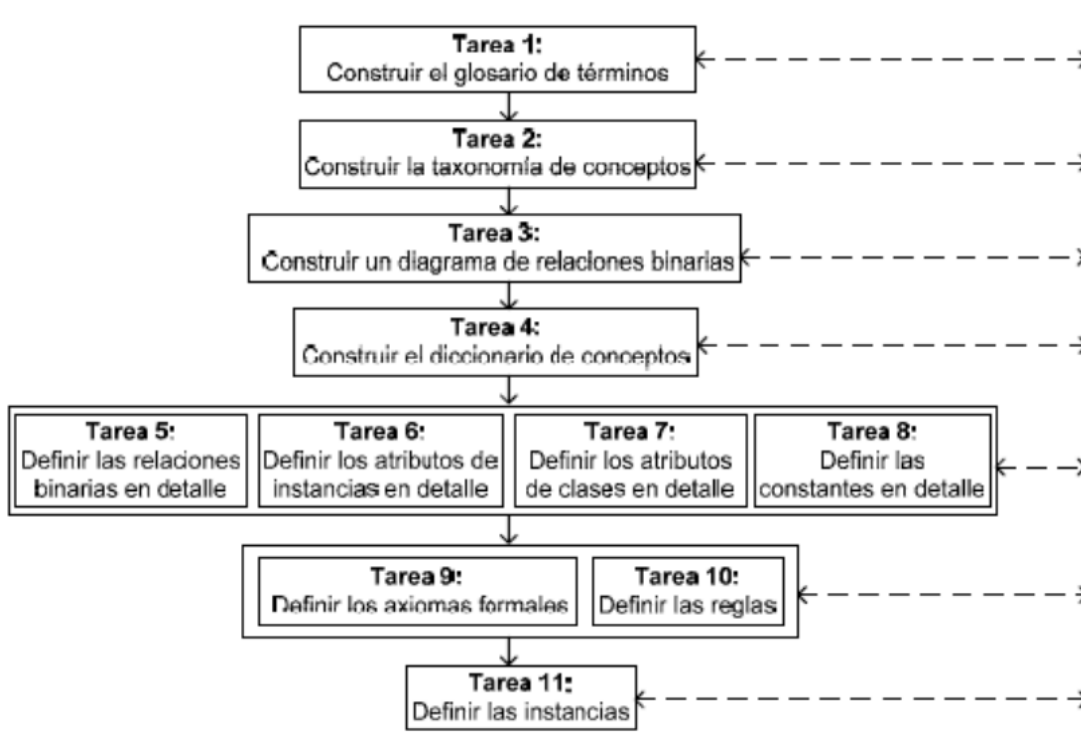
- ✓ Diseñar una estructura semántica que permita la construcción de una ontología para la selección de contenidos virtuales.
- ✓ Describir los conceptos necesarios para definir la estructura del perfil del usuario.

- ✓ Definir las reglas a través de las cuales se puedan seleccionar los contenidos para planificar el curso virtual.
  - ✓ Adaptar los objetos de aprendizaje a las características del usuario y del contexto en el cual se desenvuelve.
- **Usuarios finales**

Los usuarios finales de la ontología serán los estudiantes que podrán acceder a la información proporcionada a partir de las inferencias de la ontología, los profesores quienes definirán gran parte del contenido de la ontología y los asistentes especializados.

### 4.2.2 Fase de conceptualización

“La fase de conceptualización comprende el organizar y convertir una percepción informal de un dominio en una especificación semi-formal usando un conjunto de representaciones intermedias (tablas, diagramas) que puedan ser entendidas por los expertos del dominio y los desarrolladores de ontologías” (Ramos & Nuñez, 2007). Methontology distribuye los objetivos de esta fase en 11 tareas, las cuales se presentan en la figura 4-7.



**Figura 4-7:** Tareas de la fase de conceptualización de Methontology. Tomado de (Corcho et al. 2005)

- **Tarea 1: Construcción del glosario de términos**

Esta tarea ayuda a definir todos los conceptos asociados al dominio que se quiere representar mediante la ontología. Como la mayoría de conceptos ya fueron descritos en secciones previas solo nos limitaremos a enumerarlos (ver tabla 4-1).

**Tabla 4-1:** Glosario de términos de la ontología.

Categoría	Concepto
CVA	Usuario
	CVA
	UBA
	Tema
	OA
	Evaluación
	OE
Perfil del usuario	Horario
	Historial académico
	Idioma
	Preferencia
	Formato preferido
	Idioma preferido
	Área del conocimiento

	Histórico CVA
<b>Contexto del usuario</b>	Tecnológico
	Espacial
	Temporal

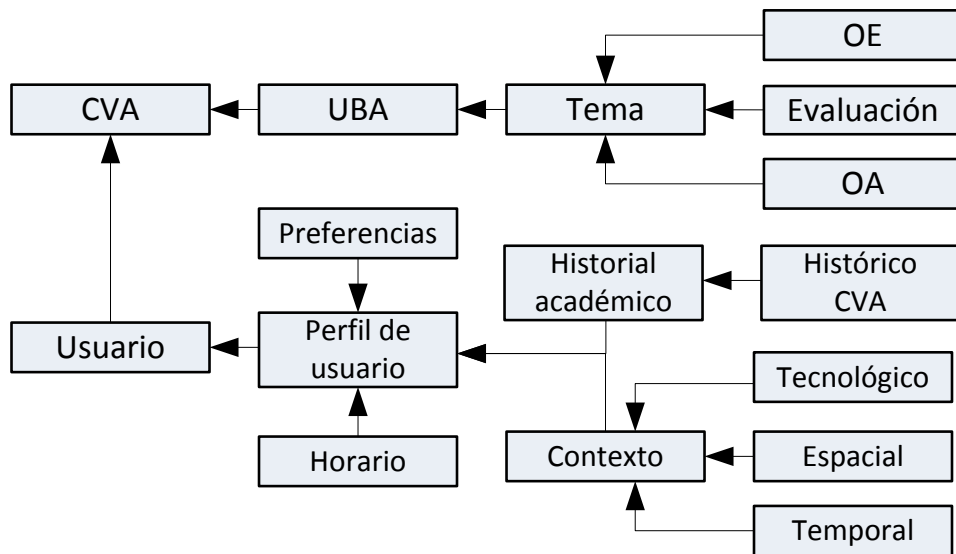
**Nota:** Aunque existen otras categorías relacionadas con el contexto, solo se consideraron dentro del modelo ontológico estas cuatro.

• **Tarea 2: Construcción de la taxonomía de conceptos**

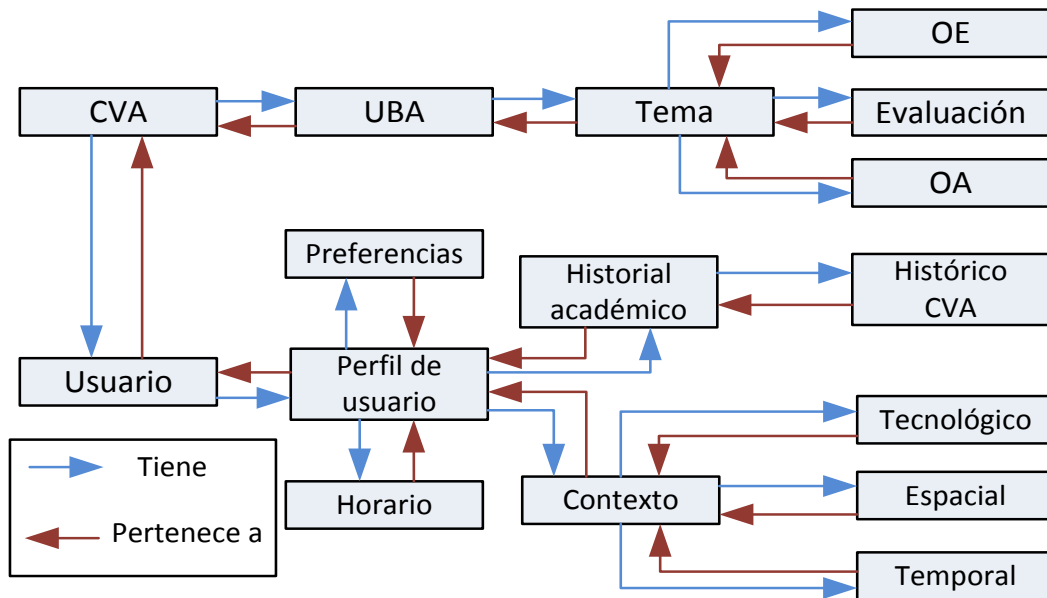
La taxonomía de los conceptos define una estructura de representación jerárquica de los conceptos identificados en la tarea anterior. La figura 4-8 presenta dicha taxonomía en la cual se integran los conceptos referentes a los CVA, los perfiles de usuario y la información contextual.

• **Tarea 3: Construcción del diagrama de relaciones binarias**

Este diagrama presenta las relaciones entre los conceptos mapeados en la taxonomía de la tarea anterior (ver figura 4-9). Estas relaciones permiten identificar en la fase de implementación las propiedades entre objetos que serán especificadas posteriormente.



**Figura 4-8:** Taxonomía de conceptos de la ontología.



**Figura 4-9:** Diagrama de relaciones binarias.

- **Tarea 4: Construcción del diccionario de conceptos**

El diccionario de conceptos contiene los atributos de clases y las relaciones de cada concepto. Para llevar a cabo esta tarea fue necesario mapear los conceptos a clases e identificar los atributos de cada una de estas (ver tabla 4-2).

**Tabla 4-2:** Diccionario de conceptos de la ontología.

Clase	Atributos de clase	Relaciones
CVA	- Id - Título - Descripción	- Tiene
UBA	- Id - Título - Descripción	- Tiene - Pertenece a
Tema	- Id - Título - Descripción	- Tiene - Pertenece a
OE	- Id - Título - Descripción	- Tiene - Pertenece a
Evaluación	- Id - Título	- Tiene - Pertenece a

- Descripción		
OA	- Id	- Tiene - Pertenece
Usuario	- Id - Nombre - Apellido	- Tiene - Pertenece a
Perfil de usuario	- Rol - Género - Fecha de nacimiento - Idioma - Correo electrónico - Dirección - Estilo de Aprendizaje	- Tiene - Pertenece
Historial académico	- Promedio - Nivel de educación - Programa - Semestre	- Tiene - Pertenece
Histórico CVA	- IdCVA - Estado - Nota	- Tiene - Pertenece
Horario	- Id	- Tiene - Pertenece
Preferencias	- Nivel de interactividad - Duración del aprendizaje - Área del conocimiento - Formatos preferidos - Idiomas preferidos	- Tiene - Pertenece
Contexto Tecnológico	- Tipo de dispositivo - Sistema operativo - Versión sistema operativo	- Tiene - Pertenece
Contexto espacial	- Latitud - Longitud - Precisión - Ciudad - País	- Tiene - Pertenece
Contexto temporal	- Fecha - Horario - Calendario	- Tiene - Pertenece

• **Tarea 5: Descripción de las relaciones binarias en detalle**

Esta tarea tiene como objetivo detallar las relaciones entre los conceptos y establecer las relaciones inversas presentes en la ontología. Debido a que en este caso se detalla una estructura plenamente taxonómica solo fue necesaria un tipo de relación con su inversa (ver tabla 4-3).

**Tabla 4-3:** Descripción detallada de relaciones binarias.

Relación	Clase origen	Clase destino	Relación inversa
<b>Tiene</b>	CVA	UBA	<b>Pertenece a</b>
	UBA	Tema	
	Tema	OE	
	Tema	Evaluación	
	Tema	OA	
	CVA	Usuario	
	Usuario	Perfil de usuario	
	Perfil de usuario	Horario	
	Perfil de usuario	Preferencias	
	Perfil de usuario	Contexto	
	Perfil de usuario	Historial académico	
	Historial académico	Histórico CVA	
	Contexto	Contexto tecnológico	
	Contexto	Contexto espacial	
Contexto	Contexto temporal		

- **Tarea 6: Descripción de atributos de instancia en detalle**

En la tabla 4-4 presenta un extracto de la tabla de atributos de instancia en detalle para el concepto de perfil del usuario. Esta identifica los atributos, la clase a la cual pertenecen, el tipo de valor y la cardinalidad; de manera análoga fueron detallados los atributos de las demás clases.

**Tabla 4-4:** Descripción de atributos de instancia en detalle.

Atributo	Clase	Tipo valor	Cardinalidad
Rol	Perfil de usuario	Texto	1
Género		Texto	1
Fecha de nacimiento		Fecha	1
Idioma		Texto	1-n
Correo electrónico		Texto	1-n
Dirección		Texto	1-n
Estilo de aprendizaje		Texto	1-n

Las tareas 7, 8 y 9 propuestas por la metodología Methontology no aplican para el dominio de la ontología, por esta razón no serán detalladas.

- **Tarea 10: Definición de reglas**

A partir de esta tarea se identificaron las reglas necesarias para el desarrollo de inferencias mediante la ontología. En la tabla 4-5 se presenta la regla técnica de inferencia para evidenciar el proceso, sin embargo, el proceso de inferencia a partir



de la ontología fue realizado y validado en la etapa de implementación de la ontología la cual se presenta más adelante.

**Tabla 4-5:** Regla de derechos.

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

- **Tarea 11: Definición de instancias**

Durante el desarrollo de esta tarea fueron definidas las instancias, las cuales comprenden los individuos asociados a las clases creadas, por facilidad en las pruebas se consideraron entidades genéricas que fueron enumeradas ascendentemente.

El modelo ontológico obtenido a partir de la aplicación de la metodología Methontology es presentado en la figura 4-10, la cual presenta la relación taxonómica de los conceptos de la ontología, las propiedades de dato (Data properties) y las propiedades de objeto (Object properties).

### 4.2.3 Fases de formalización e implementación

La fases de formalización e implementación de la ontología consisten en plasmar el conocimiento identificado a partir de las fases previas a través de un lenguaje formal, en este caso se utilizó OWL (<http://www.w3.org/TR/owl-features/>) mediante la herramienta Protégé (<http://protege.stanford.edu/>). En este sentido, se crearon 23 clases, 124 instancias, 27 propiedades de tipo object-properties y 43 de tipo Datatype-properties. Es importante aclarar que lo referente al estándar IEEE LOM para OA fue mapeado en el idioma inglés para conservar la consistencia con la especificación oficial. La figura 4-11

presenta las jerarquías entre las clases definidas a través de una ontología generada a partir de Protégé.

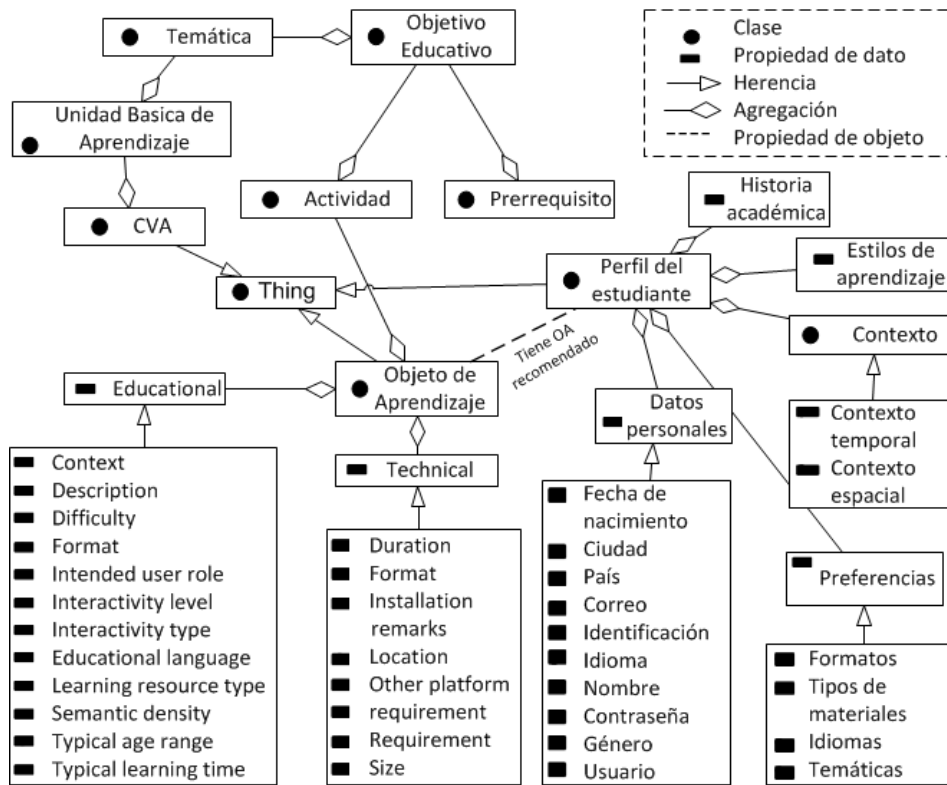


Figura 4-10: Estructura ontológica.

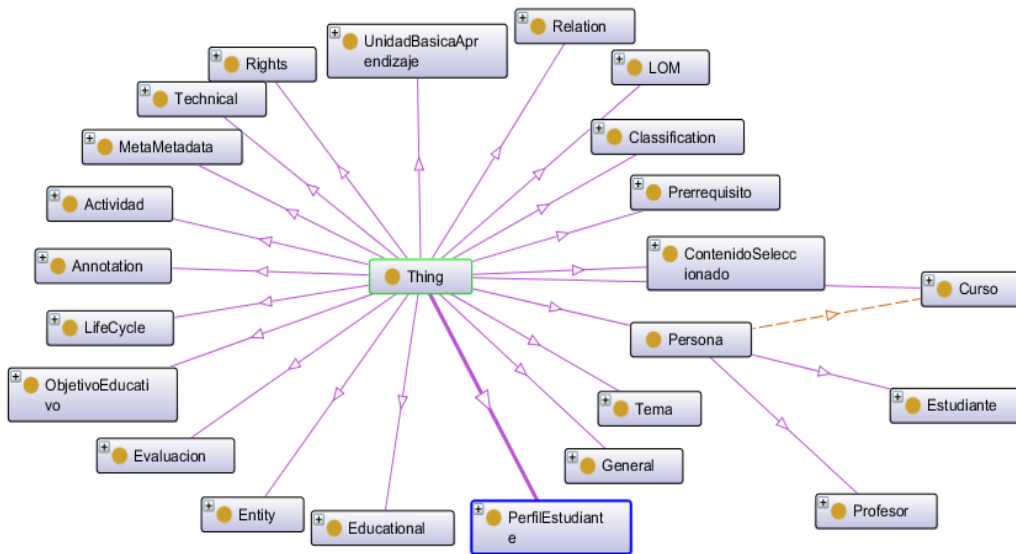


Figura 4-11: Ontología generada a partir de Protégé.

### 4.3 Planificación instruccional de CVAs

El SMA de planificación instruccional buscó incorporar las siguientes funcionalidades que permitieran:

- **La planificación de CVA:** el principal objetivo es la organización de contenidos a partir de la estructura propuesta para la construcción de los CVA. Esto permitiría guiar a los estudiantes a lo largo de los cursos, habilitando nuevos temas a medida que se avanza en los contenidos y proponiendo nuevos contenidos que les ayudarán a fortalecer el proceso de aprendizaje.
- **Evaluación de contenidos:** esta funcionalidad pretende evaluar el conocimiento adquirido por el estudiante con el objetivo de habilitar nuevos contenidos, de esta manera esta funcionalidad es complementaria con la planificación ya que brinda información vital relativa al avance del estudiante y permite evidenciar las falencias o fortalezas de los estudiantes por separado.
- **Búsqueda y selección personalizada de OA:** es un componente sumamente importante dentro del sistema, puesto que ofrece contenidos personalizados que buscan despertar la concentración y el interés de los estudiantes a lo largo de los CVA, además de brindar los contenidos necesarios para el proceso de planificación. Otra característica importante que abarca esta funcionalidad es el fortalecimiento del conocimiento a lo largo de los CVA, porque en el momento en que se presenten falencias en el aprendizaje el sistema puede recomendar contenidos ajenos a la estructura de los cursos con el fin de complementar el aprendizaje y a atender dichas falencias. Estos contenidos son personalizados y adaptados a las características, gustos y limitaciones de los estudiantes, lo cual potencia el interés del estudiante y acelera el proceso de aprendizaje.
- **Búsqueda y asignación de asistentes especializados en temáticas:** permite la búsqueda y asignación de asistentes (estudiantes avanzados) de acuerdo al contexto temporal y espacial del estudiante; es decir, los asistentes serán asignados de acuerdo a la cercanía espacial a la que se encuentre con el estudiante, a los conocimientos en las áreas de interés del estudiante y a la disponibilidad de tiempo que tengan ambos.

## 4.4 Diseño de Servicios de Awareness

Los servicios de awareness juegan un papel muy importante en los ambientes virtuales de aprendizaje ubicuos y personalizados ya que sirven para brindar alertas inmediatas al estudiante a través de su dispositivo móvil cuando el sistema detecta eventos significativos tales como finalización de tareas, re-planificación del aprendizaje, recomendación de recursos educativos, apoyo al aprendizaje mediante asignación de asistentes, etc. 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.

Para el diseño del módulo de awareness contemplado se deben considerar 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 describen cada uno de los servicios considerados (Salazar et al., 2014):

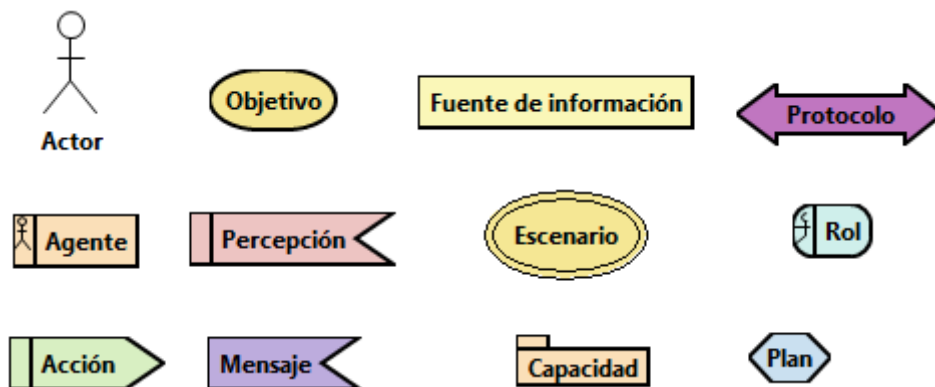
- **Participómetro:** es una vista estadística que permite identificar el nivel de participación de un estudiante dentro de las diferentes temáticas del CVA, teniendo así una métrica del nivel de actividad asociado a los OA.
- **Grafo de avance en el CVA:** presenta una vista general del estado del estudiante 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.

## 4.5 Desarrollo del SMA

Se decidió utilizar un enfoque orientado a agentes debido a que éste brinda autonomía y proactividad para la toma de decisiones en tiempo real, es ideal para problemas altamente distribuidos, permite la distribución de tareas y procesamiento paralelo para llevarlas a cabo, cuenta con protocolos de comunicación bien definidos, es tolerante a fallos y facilita el diseño y desarrollo de tareas adaptativas. Para el desarrollo del SMA se utilizó la metodología Prometheus, la cual permite el desarrollo de sistemas inteligentes a partir de un esquema práctico, completo y detallado. A continuación se detallan algunas de las fases de la metodología, las cuales fueron desarrolladas mediante la herramienta de diseño de Prometheus Design Tool (PDT) (Lin et al. 2008) y los artefactos proporcionados (ver figura 4-12).

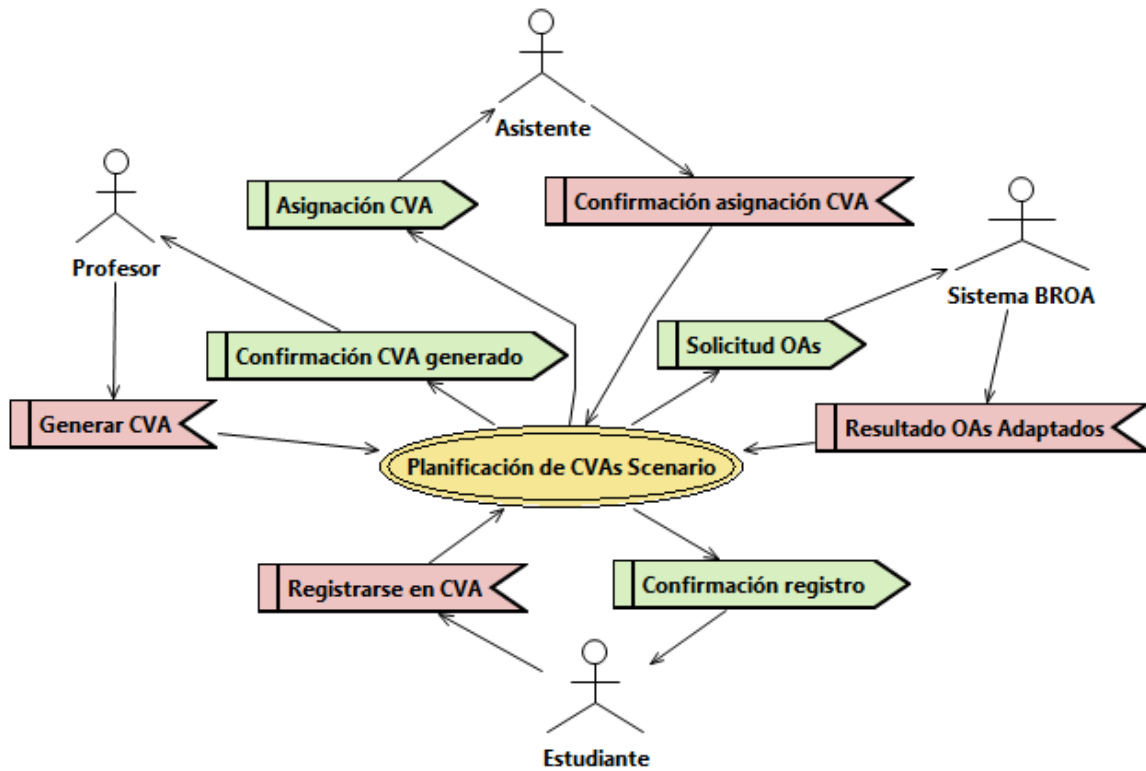


**Figura 4-12:** Artefactos proporcionados por la herramienta PDT. Adaptada de (Lin et al. 2008).

### 4.5.1 Especificación del sistema

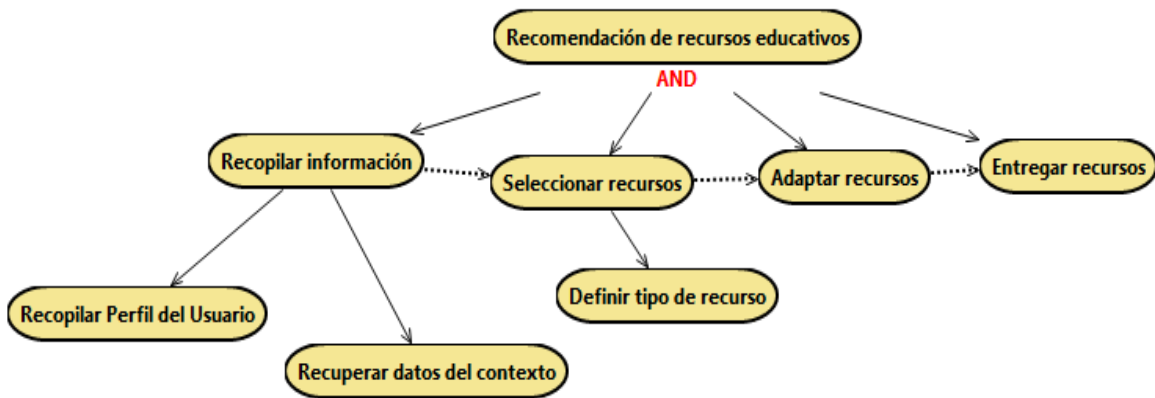
Esta fase incluye una vista general del sistema, la especificación de objetivos, actores, roles y escenarios de uso. De igual manera las interfaces del sistema se describen a partir de acciones, percepciones y fuentes de datos externas al sistema. Durante esta fase se elaboró el escenario de oferta de 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 ésto, fueron identificados cuatro actores: el estudiante, el profesor, el asistente especializado y el sistema BROA (Rodríguez et al. 2013), utilizado para la recuperación y recomendación de OAs. La figura 4-13 presenta la vista general de análisis para el escenario de planificación de CVAs, el cual asiste el proceso de generación de CVAs de manera automática. Es decir el profesor puede solicitar la generación de un CVA y el SMA tiene la capacidad de sugerir un diseño instruccional el cual puede ser modificado o aceptado por el profesor. El diagrama presenta tanto los actores como las percepciones y acciones que realiza el SMA sobre el entorno.



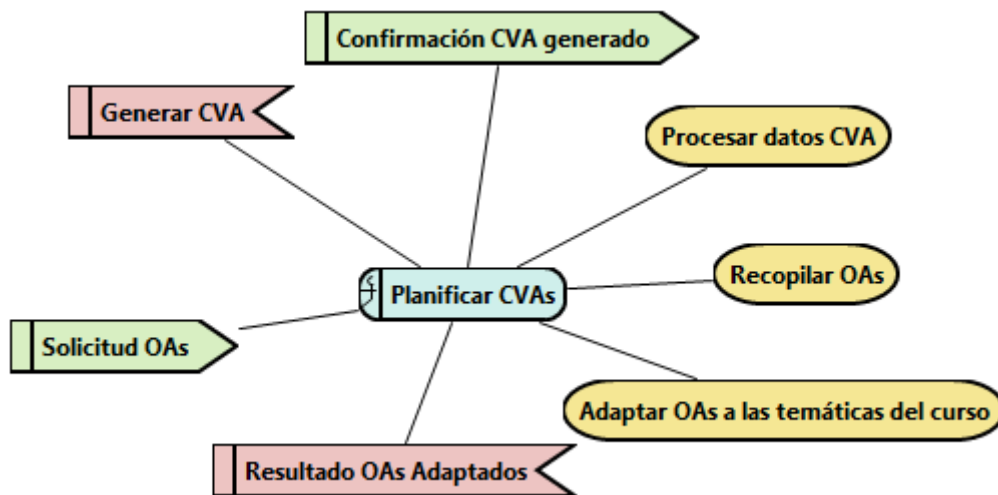
**Figura 4-13:** Diagrama para la vista general de análisis del escenario de planificación instruccional de CVAs.

Durante esta etapa también se identificaron los objetivos asociados a cada escenario y luego fueron desglosados en objetivos más específicos, generando así una jerarquía de objetivos bien definida. La figura 4-14 presenta un diagrama jerárquico de objetivos para el escenario de recomendación de recursos educativos, el objetivo general es desglosado en tareas mucho más específicas y adicionalmente, las líneas punteadas evidencian una secuencia de cumplimiento para los objetivos.



**Figura 4-14:** Diagrama para la vista general de objetivos del escenario de recomendación de recursos educativos.

De igual manera se identificaron las funcionalidades del SMA 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. El rol planificar CVA tiene los siguientes objetivos asociados: (1) procesar datos CVA, (2) recopilar OA y (3) adaptar OA a las temáticas del CVA a partir de las percepciones y las acciones definidas (ver figura 4-15).

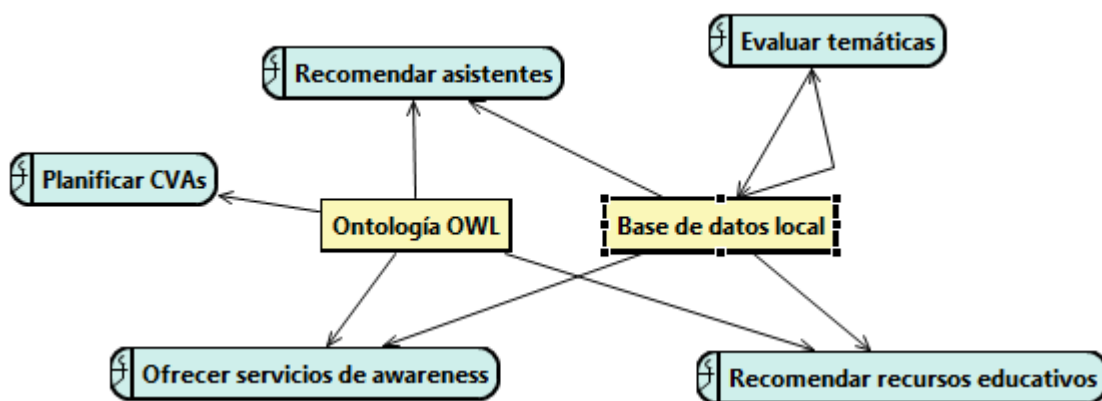


**Figura 4-15:** Diagrama para la vista general de roles del sistema para el rol de planificar CVA.



### 4.5.2 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. Inicialmente se definieron las fuentes de información utilizadas en el SMA y los roles que las accedían, la figura 4-16 presenta dichas fuentes de información las cuales obedecen a la ontología construida en secciones previas y a una base de datos local que almacena información relevante al SMA como datos para el ingreso al sistema, cursos, evaluaciones, etc.



**Figura 4-16:** Diagrama de acoplamiento de datos.

De acuerdo a las funcionalidades y a los objetivos del sistema fueron considerados cinco agentes para abordar las necesidades básicas del SMA (ver figura 4-17) y un agente adicional encargado de representar al usuario dentro de la plataforma, para un total de seis agentes intercomunicados sin jerarquía alguna y con objetivos comunes por alcanzar.

A continuación se describen 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.

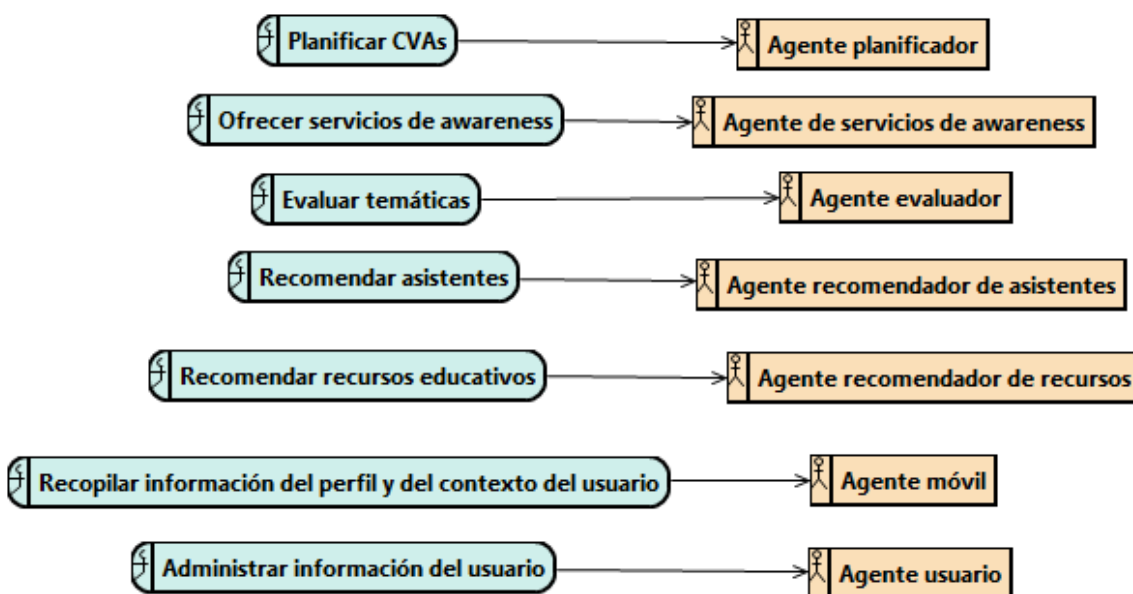


Figura 4-17: Diagrama de agrupamiento de roles en agentes.

- 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 propuesta en (Moreno et al., 2009) 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

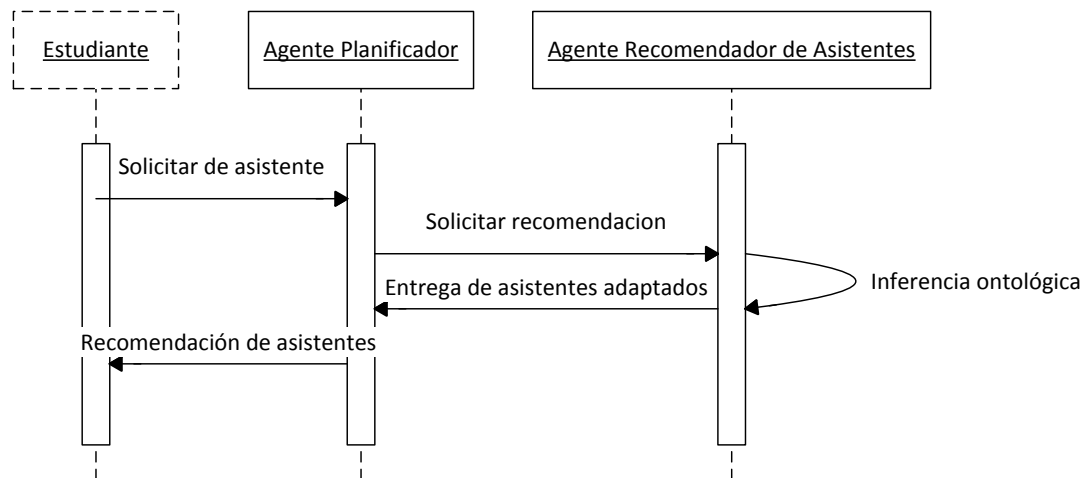
el servicio expuesto por el sistema BROA, el cual recibe el perfil del estudiante y los parámetros de búsqueda, retornando un listado de OA personalizado recopilados de diferentes repositorios. Para la recomendación de los demás recursos hace uso de la base de datos local del sistema, en la cual se almacena 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, muro de lluvia de ideas, comunidad de práctica, 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:** este agente surgió durante la etapa de definición de la arquitectura, como respuesta a la necesidad de contar con un mecanismo inteligente que recopile y administre la información del perfil y del contexto del usuario.

Como actividad final de esta fase se generó la vista general del sistema, la cual integra los elementos obtenidos hasta el momento y añade los protocolos para la comunicación entre agentes. Como resultado de aplicar la metodología se obtuvo la arquitectura presentada en la figura 4-19, la cual considera tres actores: profesor, estudiante y el sistema BROA. Como fuentes de información se definió una base de datos interna en donde se almacena información referente a los CVA y la ontología desarrollada al inicio de este capítulo. De igual manera se presentan los siete agentes considerados en el

SMA y el intercambio de información entre ellos a través de cuatro protocolos de comunicación.

A continuación se detalla el protocolo de comunicación de recomendación de asistentes mediante el diagrama de secuencias de AUML (Ver figura 4-18), en donde se presenta el actor humano estudiante y los dos agentes que participan en el proceso de recomendación: el Agente Planificador y el Agente Recomendador de Asistentes.



**Figura 4-18:** Protocolo de recomendación de asistentes.

De igual manera y como se citó previamente el proceso de inferencia al interior de los agentes se llevó a cabo a partir de reglas de producción o reglas de inferencia SWRL. A continuación se presentan las reglas de inferencia utilizadas para la selección de contenidos y de asistentes personalizados:

**Tabla 4-6:** Regla de inferencia ontológica para la selección de contenidos

Nombre	Regla
Categorización del estilo de aprendizaje del OA	$\text{LOM}(\text{?x}) \wedge$ $\text{hasEducational}(\text{?x}, \text{?e}) \wedge$ $(\text{hasLearningResourceType}(\text{?e}, \text{"audio"}) \vee$ $\text{hasLearningResourceType}(\text{?e}, \text{"video"})) \wedge$ $(\text{hasInteractivityLevel}(\text{?e}, \text{"medium"}) \vee$ $\text{hasInteractivityLevel}(\text{?e}, \text{"low"})) \vee$ $(\text{hasInteractivityType}(\text{?e}, \text{"Expositive"})$ $\vee \text{hasInteractivityType}(\text{?e}, \text{"Mixed"}))$ $\rightarrow \text{hasLearningStyle}(\text{?x}, \text{"Auditivo-Global"})$
Regla de planificación de CVA	$\text{LOM}(\text{?x}) \wedge$ $\text{hasGeneral}(\text{?x}, \text{?g}) \wedge \text{hasLearningStyle}(\text{?g}, \text{?ls}) \wedge$ $\text{Usuario}(\text{?u}) \wedge \text{tieneId}(\text{?u}, 123) \wedge$ $\text{tienePerfilUsuario}(\text{?u}, \text{?p}) \wedge \text{tieneEstiloAprendizaje}(\text{?p}, \text{?e})$ $\text{swrlb:Equal}(\text{?e}, \text{?ls}) \wedge$ $\rightarrow \text{ContenidoSeleccionado}(\text{?x})$

**Tabla 4-7:** Regla de recomendación de asistentes por contexto espacial

Nombre	Regla
Regla de recomendación de asistentes por contexto espacial	$  \begin{aligned}  & \text{Usuario}(?u) \wedge \text{tieneId}(?u,123) \wedge \\  & \text{tienePerfilUsuario}(?u,?p) \wedge \\  & \text{tieneContextoEspacial}(?p,?contEsp) \wedge \text{tieneCiudad}(?contEsp,?c) \wedge \\  & \text{Usuario}(?asist) \wedge \text{tienePerfilUsuario}(?asist,?pAsist) \wedge \\  & \text{tieneContextoEspacial}(?asist,?contAsis) \wedge \\  & \text{tieneCiudad}(?contAsis, ?cAsist) \wedge \\  & \text{swrlb:Equal} (?c,?cAsist) \\  & \rightarrow \text{AsistenteSeleccionado}(?asist)  \end{aligned}  $

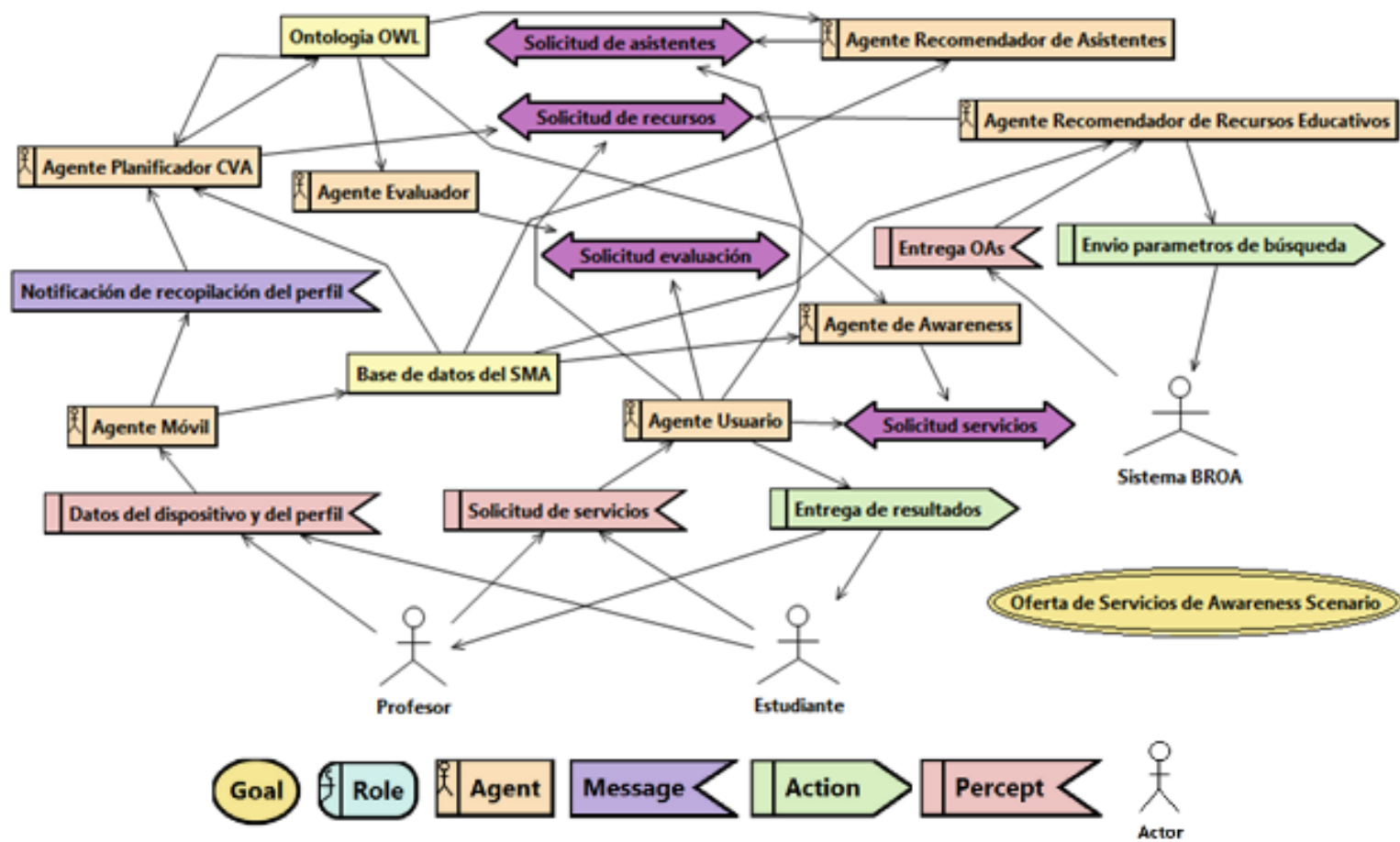


Figura 4-19: Vista general del SMA.

### **4.5.3 Diseño detallado**

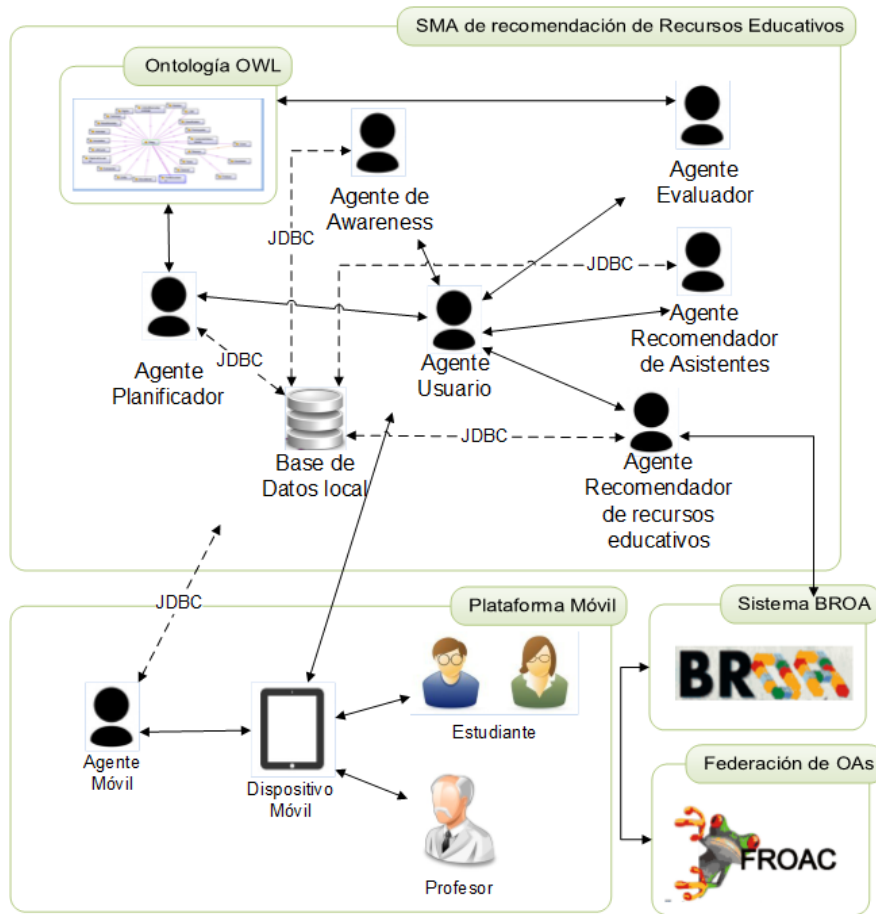
Durante esta fase se especifica la arquitectura interna de cada agente que propone la metodología Prometheus basada en los siguientes componentes: percepciones, acciones, planes, capacidades y acceso a fuentes de información. Para el razonamiento de los agentes se utilizaron inferencias a partir de la ontología propuesta en secciones previas.

## **4.6 Conclusiones del capítulo**

Este capítulo presentó la identificación y caracterización de todos los conceptos asociados al dominio de la presente tesis, evidenció el proceso de desarrollo e implementación de la ontología para la planificación y recomendación en CVA, la integración de servicios de awareness, al igual que el desarrollo del modelo multi-agente. Finalmente se presentó la integración de los componentes aislados como son: (1) la plataforma BROA, (2) la federación de OA y (3) la plataforma móvil, obteniendo como resultado un modelo multi-agente ubicuo, adaptativo y sensible al contexto para ofrecer recomendaciones personalizadas de recursos educativos basado en ontologías.

Este capítulo permitió esclarecer la ventaja de integrar sistemas multi-agente con tecnologías ubicuas para la recomendación y la planificación de CVA, a partir del paralelismo en el procesamiento, la negociación entre agentes para distribuir tareas y entregar resultados, la distribución telemática de la información y su posterior centralización para facilidad del usuario, la disponibilidad de interfaces ubicuas para el acceso a la información desde cualquier lugar y momento, la oferta de servicios de awareness para monitorear y crear conciencia en el estudiante sobre su avance en el aprendizaje, etc.





**Figura 4-20:** Modelo de SMA ubicuo, adaptativo, y sensible al contexto basado en ontologías propuesto.

La figura 4-20 presenta el modelo propuesto definitivo, el cual integra el SMA con los componentes ontológicos, la base de datos, los dispositivos móviles de los usuarios y el sistema BROA.

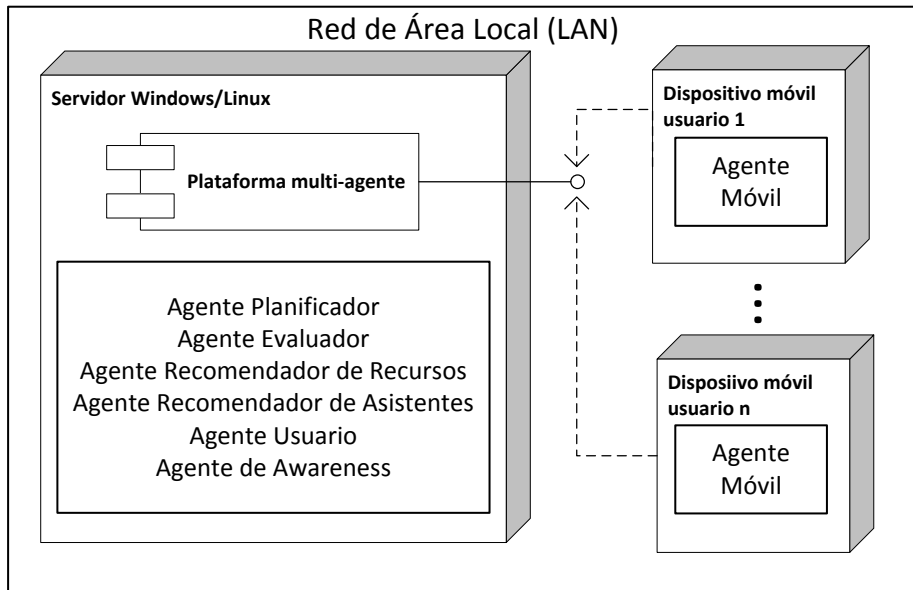


## 5. Implementación y validación del prototipo

El presente capítulo presenta el prototipo funcional desarrollado a partir del modelo propuesto, exhibiendo las características técnicas necesarias para su implementación y evidenciando a través de la validación con casos de estudio y mediante métricas su viabilidad. La aplicación resultante de dicho desarrollo fue denominada SMArt CVA. La implementación fue dividida en cuatro secciones: la primera presenta el despliegue de la plataforma multi-agente, posteriormente, en la segunda se muestra el proceso de integración ontológica y el mecanismo de cosecha de datos de la misma. La tercera sección presenta la integración del módulo de planificación instruccional y por último se incluye al prototipo el módulo de servicios de awareness. Finalmente, se presenta el proceso de validación a partir de casos de estudio propuestos.

Con el objetivo de validar el modelo propuesto, fueron planteados casos de estudio que permitieran evidenciar el comportamiento de cada uno de los servicios de awareness propuestos y del mecanismo de planificación instruccional. Para lograr esto fueron seleccionados diversos estudiantes de los cursos de Inteligencia Artificial y de Sistemas Multi-Agente del departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión de la Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín. Para dichos estudiantes se recopiló la información tanto de sus perfiles como de sus contextos y la información referente a los cursos fue mapeada también para validar el prototipo.

El prototipo consta de una plataforma central donde son desplegados los agentes propios del modelo propuesto y los agentes nativos de administración de la plataforma de acuerdo al ambiente multi-agente desplegado. Los nodos secundarios corresponden a los dispositivos móviles de cada uno de los usuarios conectados a la plataforma, nodo en el cual reside el agente móvil encargado de recolectar las características del contexto las cuales son proporcionadas por el dispositivo móvil (ver figura 5-1).



**Figura 5-1:** Diagrama de despliegue de la aplicación SMarT CVA.

## 5.1 Implementación de la plataforma Multi-Agente

El sistema fue implementado usando el Framework JADE (Bellifemine et al. 1999) 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.

**Tabla 5-1:** Características técnicas para la implementación de la plataforma multi-agente.

Característica	Valor
Sistema Operativo	Windows 7 64/32 bits
Ambiente de desarrollo multi-agente	JADE 4.3.1
Motor de base de datos	MySQL 5.6
Servidor de soporte para la base de datos	XAMPP 3.2.1
Lenguaje de desarrollo	JAVA
Herramienta de desarrollo JAVA	JDK 7u71
Lenguaje de comunicación	ACL (Extensión de KQML)

La figura 5-2 presenta la interfaz gráfica proporcionada por JADE para la administración de la plataforma, en el contenedor principal se pueden apreciar los agentes propios de JADE:

- **Remote Monitoring Agent (RMA):** este agente está encargado de la administración de la interfaz gráfica de JADE, la cual brinda herramientas de monitoreo que facilitan el desarrollo de los agentes dentro de la plataforma.
- **Agent Management System (AMS):** este agente está encargado de la administración de los registros de los agentes en la plataforma, es decir, supervisa el proceso de autenticación y lleva un control de registros de todos los agentes registrados en la plataforma, evitando inconsistencias (Páginas blancas).
- **Directory Facilitator (DF):** es el agente encargado de registrar y proveer información referente a los servicios de los agentes, por esta razón es conocido como las páginas amarillas.

Adicionalmente, fueron generados cada uno de los agentes propios del modelo propuesto. Los contenedores secundarios asociados corresponden, como se decía previamente a los dispositivos móviles de cada uno de los usuarios autenticados dentro de la plataforma. Al interior de cada contenedor secundario se despliega un agente móvil encargado de recopilar la información contextual del usuario.

Para el despliegue de las plataformas móviles asociadas a los dispositivos móviles de los usuarios fue necesario utilizar la plataforma Android. Esta plataforma permite la integración con la plataforma principal de JADE a partir de contenedores secundarios, como se explicó anteriormente. La figura 5-3 presenta dos interfaces móviles: (1) el ingreso o registro dentro de la plataforma y (2) el menú principal que se despliega cuando los estudiantes ingresan a SMARt CVA.

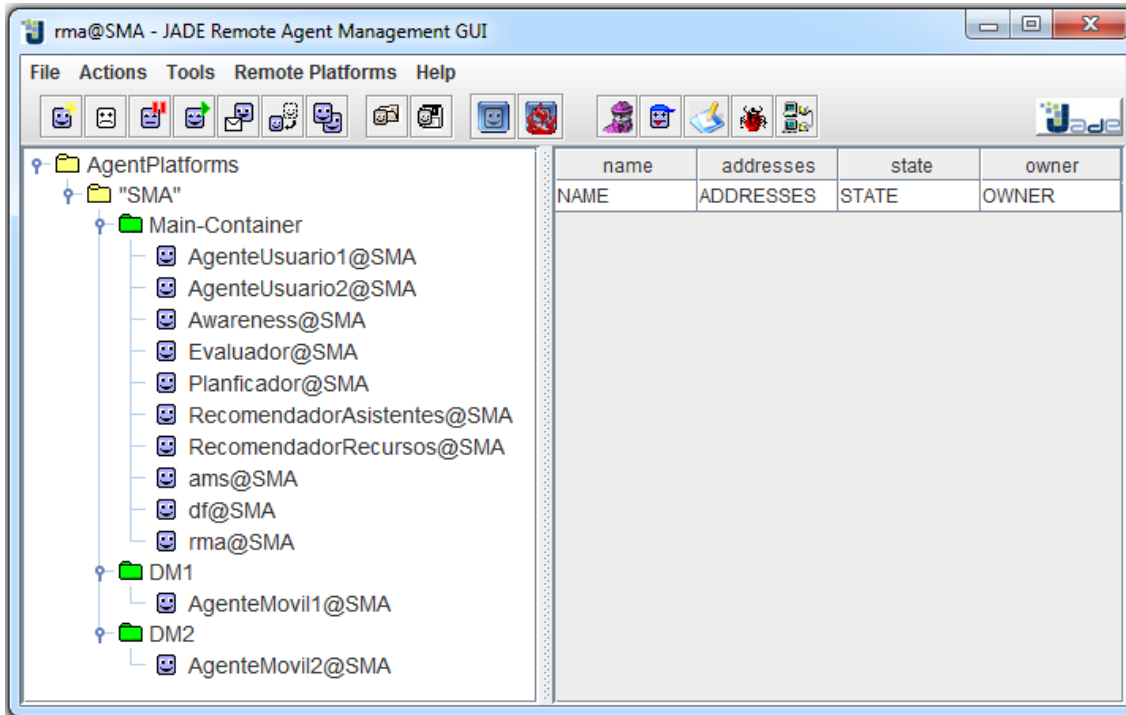


Figura 5-2: Interfaz gráfica de JADE para la plataforma multi-agente.

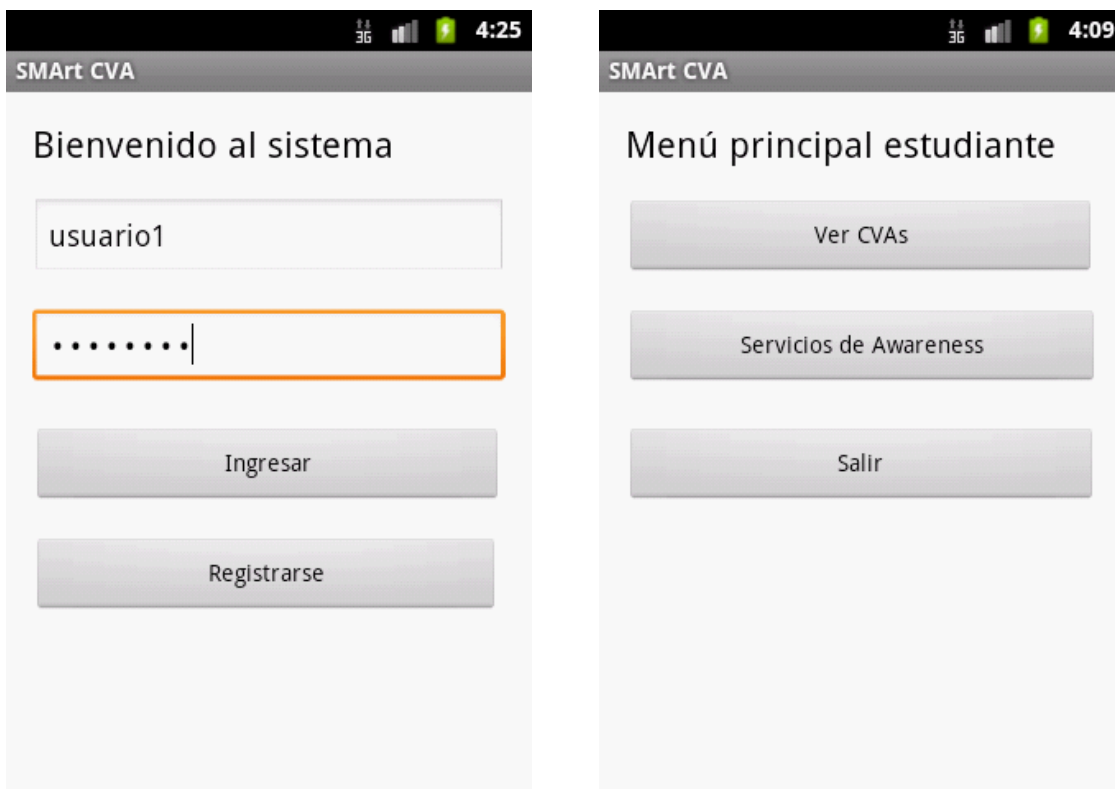


Figura 5-3: Interfaces móviles de ingreso y menú principal del sistema SMART CVA.

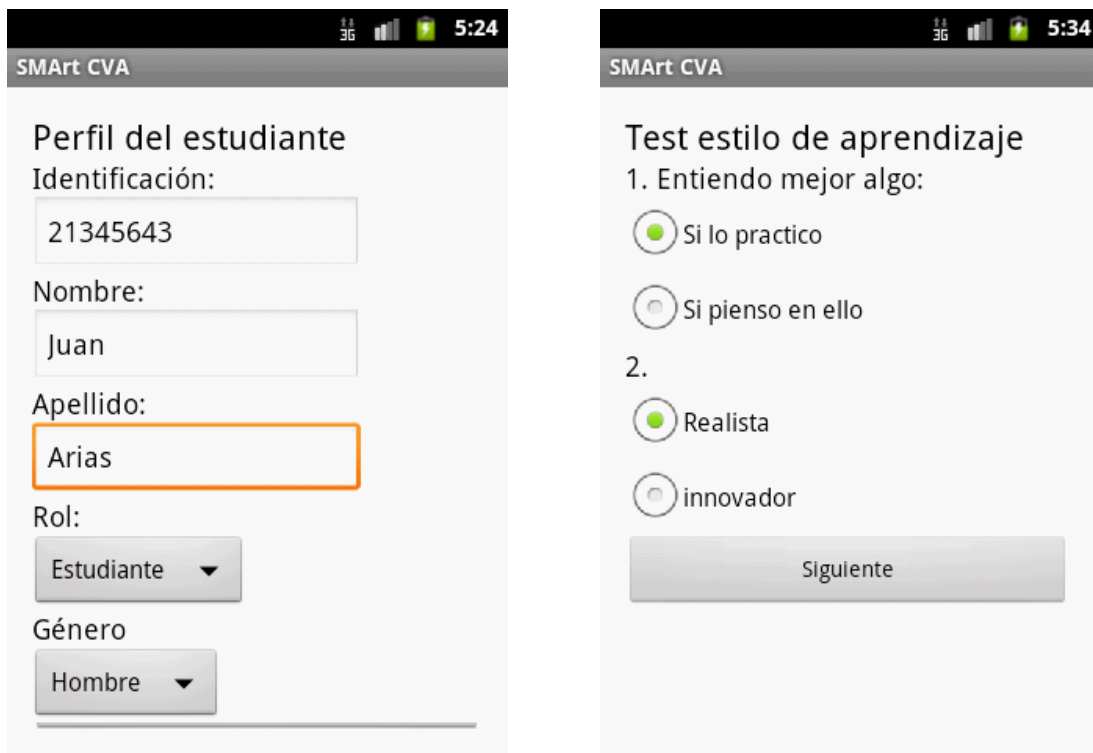
## 5.2 Integración Ontológica y recopilación de información

La ontología desarrollada en Protégé en el capítulo 4, fue integrada mediante Apache JENA (<https://jena.apache.org/>) el cual es un framework que proporciona mecanismos para la implementación, la cosecha de datos y la administración de sistemas basados en ontologías.

**Tabla 5-2:** Características técnicas para la integración ontológica.

Característica	Valor
Herramienta de integración	Apache Jena 2.12.1
Lenguaje de desarrollo	JAVA
Mecanismo de inferencia	Reglas SWRL - SPARQL

Apache JENA fue utilizado inicialmente para importar la ontología desarrollada en OWL, posteriormente se realizó un proceso de cosechado de información ontológica el cual necesitó de la obtención de datos por parte de los usuarios. A continuación se describe a qué corresponde dicho proceso:

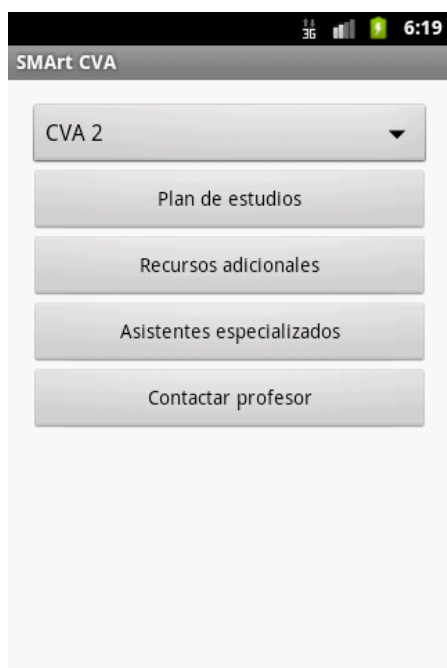


**Figura 5-4:** Proceso de cosechado de información ontológica (perfil del usuario y test de estilos de aprendizaje)

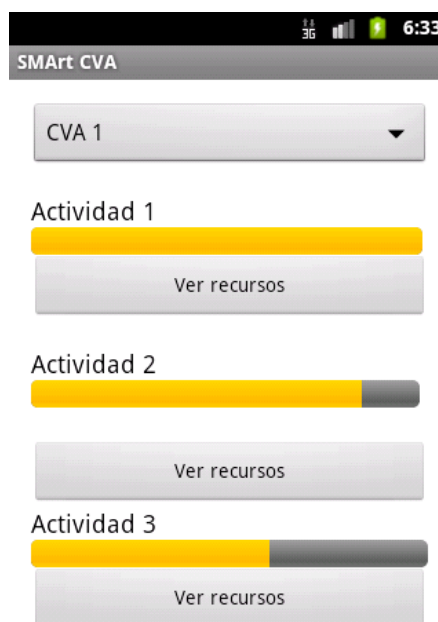
La figura 5-4 presenta el proceso una extracción de las interfaces de recolección de datos del perfil y de la obtención del estilo de aprendizaje del usuario respectivamente. Luego de recopilar estos datos, el agente móvil tiene la responsabilidad de enviar la información al agente usuario con el fin de centralizarla. Posteriormente, el agente usuario se encarga de mapear dicha información a la ontología, esto se realiza mediante un comportamiento en JAVA que utiliza la librería de Apache JENA para realizar el cosechado.

### 5.3 Integración del módulo de planificación instruccional de CVA

El despliegue del módulo de planificación es llevado a cabo por el agente planificador, quien reacciona ante la solicitud del agente usuario.

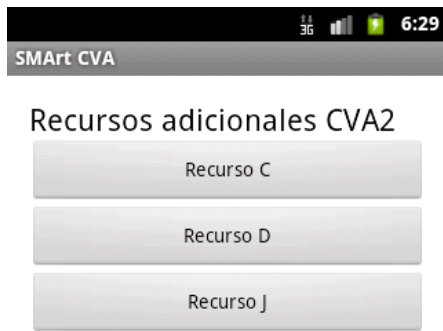


(a)

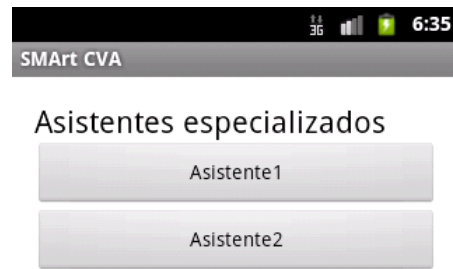


(b)





(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura 5-5:** Interfaces móviles del módulo de planificación.

En la figura 5-5 se presentan las interfaces móviles propias del módulo de planificación, a través de las cuales el usuario puede interactuar para desplegar diferentes funcionalidades. A continuación se detallan cada una de las interfaces móviles:

- a) Esta interfaz presenta el menú principal del módulo donde el estudiante puede escoger funcionalidades como: (1) ver plan de estudios, (2) consultar recursos adicionales, (3) contactar asistentes especializados y (4) contactar al profesor.
- b) La interfaz de plan de estudios permite al estudiante consultar su estado dentro del CVA, basado en la estructura instruccional que se obtuvo a partir del proceso de planificación de SMArt CVA.
- c) La interfaz de recursos adicionales permite visualizar los recursos recomendados por el agente recomendador de recursos, los cuales permiten afianzar conocimientos o mejorar deficiencias en el proceso de aprendizaje.
- d) La interfaz de asistentes especializados recomienda los asistentes seleccionados por el agente recomendador de asistentes, los cuales son especialistas en las temáticas que aborda el CVA.
- e) Esta interfaz ofrece mecanismos de contacto entre los estudiantes y los profesores; estos mecanismos son el chat o el correo electrónico. Es importante resaltar que la interfaz de contacto de asistentes especializados es similar a la acá presentada.
- f) La última interfaz del módulo presenta la estructura instruccional obtenida a partir del proceso de planificación de SMArt CVA, la cual permite la selección de las temáticas y de las actividades, a partir de la cual se asocian los recursos planificados, que en este caso serían OA. El profesor puede aceptar la recomendación del sistema o hacerle modificaciones si lo considera necesario.

**Tabla 5-3:** Características técnicas para la integración de los módulos de planificación instruccional y de servicios de awareness.

Característica	Valor
Tipo de plataforma	Móvil
Sistema operativo	Android 4.1.2
Entorno de desarrollo	Android Development Tool (ADT)

## 5.4 Integración del módulo de Servicios de Awareness

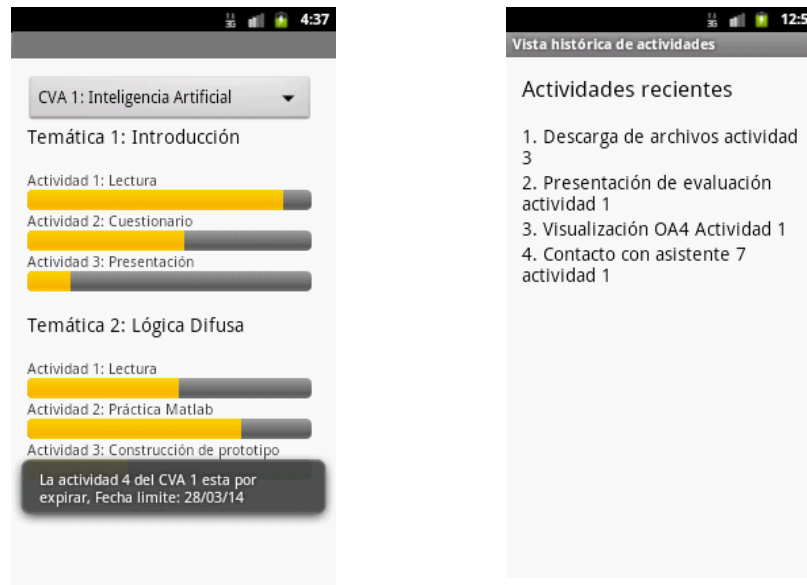
A continuación se presenta el despliegue del módulo de servicios de awareness a través de dispositivos móviles. El despliegue de este módulo es responsabilidad del agente de awareness, quien está encargado de monitorear continuamente las actividades de los

estudiantes para ofrecer servicios proactivos como el servicio de alarmas. De igual manera, debe estar disponible para responder reactivamente a solicitudes de servicios realizadas por los usuarios. La figura 5-6 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.

El segundo servicio de la figura 5-6 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.



**Figura 5-6:** Servicios de awareness (participómetro, recomendación de asistentes y recursos accedidos).



**Figura 5-7:** Servicios de awareness (grafo de avance y vista histórica de actividades).

De los servicios presentados en la figura 5-7, 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 inician 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.

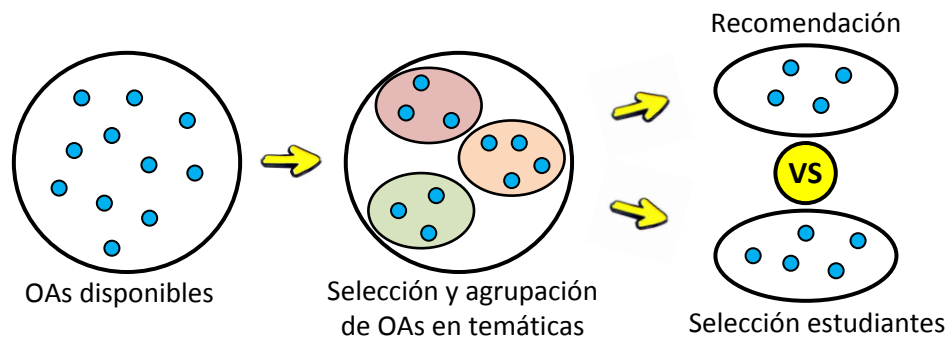
## 5.5 Validación

Esta sección presenta la validación del desempeño del prototipo basado en el modelo multi-agente propuesto resaltando algunas de las características propuestas en el marco de la presente tesis. La validación cubre cuatro frentes; a saber:

- a) Las recomendaciones de recursos educativos a partir de la ontología.
- b) La satisfacción en la utilización de los servicios de awareness.
- c) La funcionalidad de la aplicación móvil.
- d) El desempeño general del SMA a partir de métricas cualitativas y cuantitativas.

### 5.5.1 Validación de las recomendaciones realizadas a partir de la ontología

Para la validación de las inferencias obtenidas a partir de la ontología por parte de los estudiantes, se seleccionaron veinte OA y sus respectivos metadatos. La selección de esos OA se hizo para diferentes temas asociados al curso de Inteligencia Artificial, esto con el fin de que tuvieran diferente información y ver qué tan bien se acoplaban a los perfiles de estudiantes.



**Figura 5-8:** Proceso de validación ontológica por parte de los estudiantes.

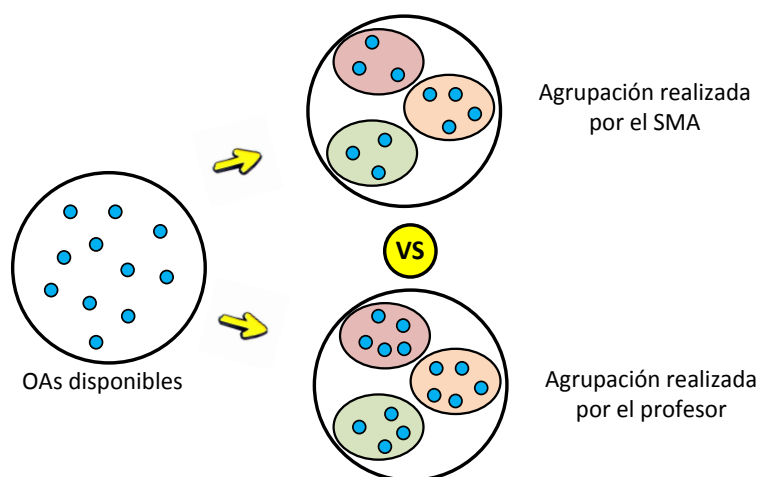
Como se presenta en la figura 5-8, el proceso de validación de las recomendaciones realizadas a partir de la ontología por parte de los estudiantes comprendió los siguientes pasos: (1) se recuperaron los OA asociados a las temáticas del CVA de Inteligencia Artificial, (2) se agruparon dichos OA en temáticas asociadas al CVA, (3) se seleccionaron diez estudiantes junto con sus perfiles de usuario, (4) el SMA recomendó los OA que más se acoplaban a los perfiles de usuario, (5) los estudiantes seleccionaron los OA que más les gustaban y (6) se realizó una comparación de los resultados arrojados por el SMA y los OA seleccionados por los estudiantes, en donde se midieron cuántos de los OA seleccionados por los estudiantes fueron recomendados por el SMA. Los resultados de dicha prueba de validación se presenta en la tabla 5-4. A partir de los resultados obtenidos se evidencia que las recomendaciones realizadas por el SMA tienen alto porcentaje de acierto respecto a los OA seleccionados por los estudiantes (superior al 70%).

**Tabla 5-4:** Resultados de la validación ontológica por parte de los estudiantes.

Estudiante	OAs	OAs	OAs inferidos	Porcentaje de
------------	-----	-----	---------------	---------------

	considerados	seleccionados por el estudiante	a partir de la ontología	acierto
1	20	8	7	87,5%
2		7	5	71,4%
3		10	9	90%
4		11	8	72,7%
5		6	6	100%
6		8	7	87,5%
7		9	8	88,9%
8		8	6	75%
9		12	9	75%
10		11	10	90,9%

De manera similar, para la validación de las inferencias obtenidas a partir de la ontología por parte de los profesores, se seleccionaron veinte OA y sus respectivos metadatos. La selección de esos OA se realizó para diferentes temáticas asociadas a los cursos de Inteligencia Artificial y SMA.



**Figura 5-9:** Proceso de validación ontológica por parte de los profesores.

Como se presenta en la figura 5-9, el proceso de validación de las recomendaciones realizadas a partir de la ontología por parte de los profesores comprendió los siguientes pasos: (1) se recuperaron los OA asociados a las temáticas de los CVA de Inteligencia Artificial y SMA, (2) El SMA realizó una recomendación para el agrupamiento de estos OA en temáticas, (3) de manera simultánea los profesores seleccionaron los OA que más se acoplaban a las temáticas del CVA, (4) se realizó una comparación de los resultados arrojados por el SMA y los OA seleccionados por los profesores, en donde se midieron cuántos de los OA seleccionados para las temáticas fueron también seleccionados por

los profesores. El resultado de dicha prueba de validación se presenta en las tablas 5-5, 5-6 y 5-7, las cuales corresponden a cada uno de los tres profesores evaluados. En conclusión se puede afirmar que el SMA agrupó los OA a las temáticas del CVA con un porcentaje de acierto superior al 60% para la mayoría de los casos.

**Tabla 5-5:** Resultados de la validación ontológica por parte del primer profesor.

Tema	OAs seleccionados por el profesor	OAs inferidos a partir de la ontología	Porcentaje de acierto
1	3	3	100%
2	5	3	60%
3	3	3	100%

**Tabla 5-6:** Resultados de la validación ontológica por parte del segundo profesor.

Tema	OAs seleccionados por el profesor	OAs inferidos a partir de la ontología	Porcentaje de acierto
1	4	4	100%
2	4	3	75%
3	3	2	33,3%
4	2	2	100%

**Tabla 5-7:** Resultados de la validación ontológica por parte del tercer profesor.

Tema	OAs seleccionados por el profesor	OAs inferidos a partir de la ontología	Porcentaje de acierto
1	5	4	80%
2	5	3	60%
3	4	3	75%

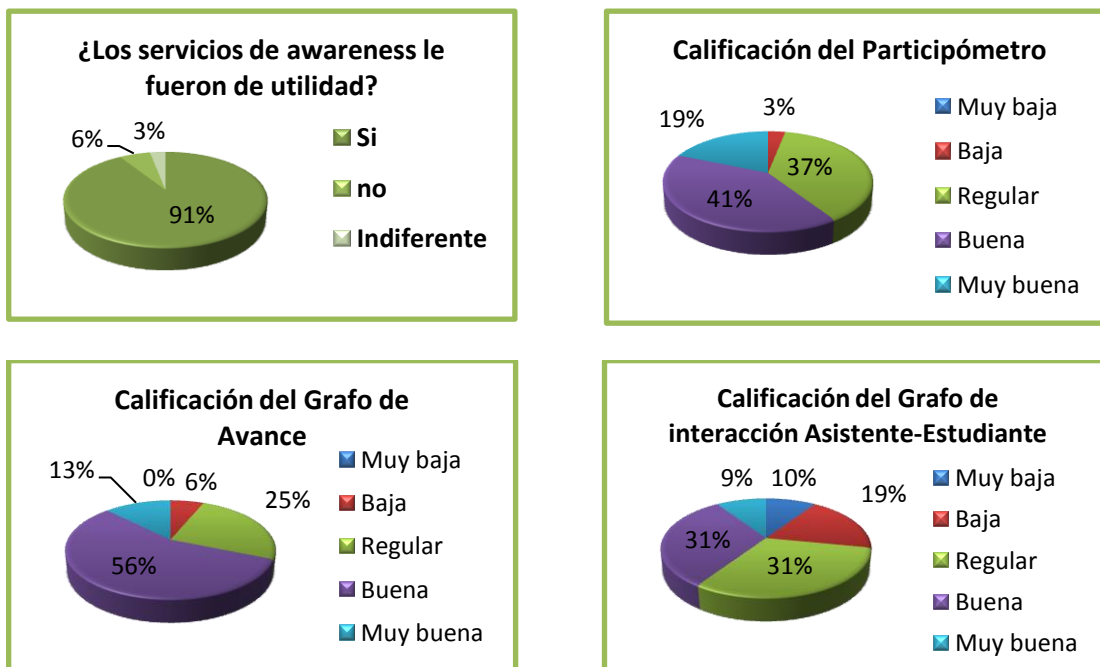
### 5.5.2 Validación de los Servicios de Awareness

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

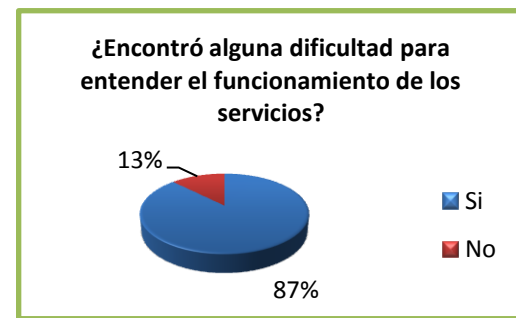
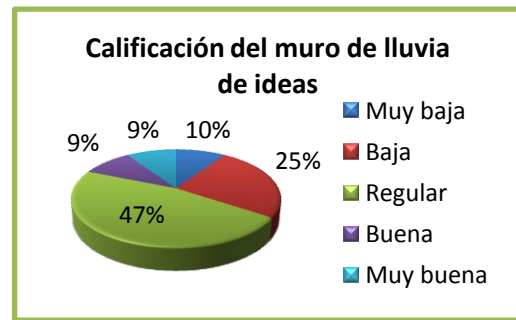
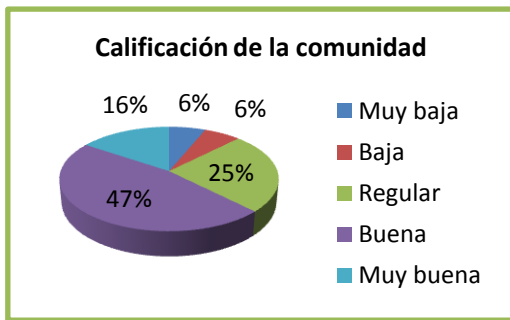
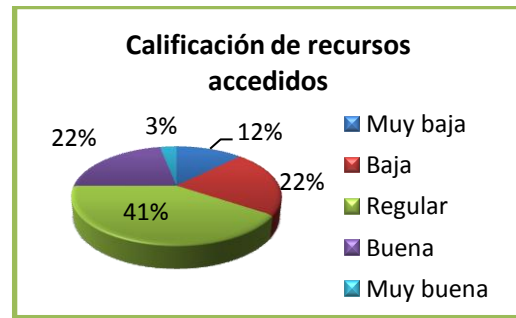
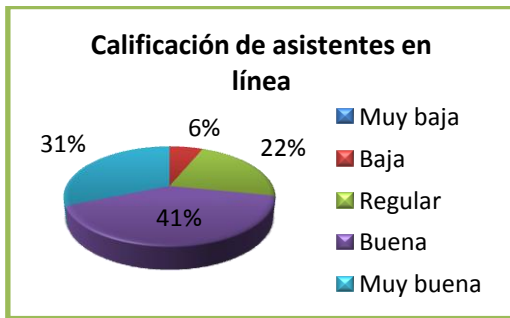
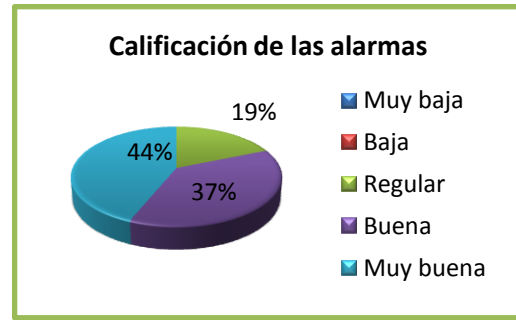
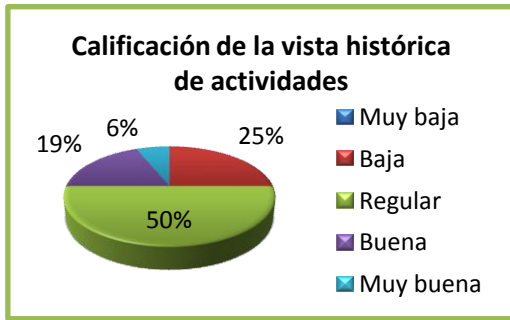
departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. Este curso contó con 32 estudiantes de pregrado, 27 de Ingeniería de Sistemas e Informática y 5 de Ingeniería de Control.

Los resultados de la aplicación de la prueba se presentan en la tabla 5-8, 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%). 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.

**Tabla 5-8:** Medición de la encuesta de percepción de los servicios de awareness.







### 5.5.3 Validación de la funcionalidad de la aplicación móvil

Con el objetivo de validar el funcionamiento de la aplicación a nivel móvil, se realizaron diferentes pruebas de despliegue de la plataforma. Para este fin se consideraron dos aspectos: (a) el despliegue de la aplicación en diversas versiones del sistema operativo

Android y (b) el despliegue de la aplicación en diversos dispositivos con sistema operativo Android, es decir, una validación fue más a nivel de software y otra a nivel de hardware. A continuación se presentan los resultados de dichas pruebas:

#### a) Validación del despliegue de la aplicación en diversas versiones del Sistema Operativo Android

La tabla 5-9 presenta diversos factores de validación de la aplicación para diferentes sistemas operativos, se puede concluir que en las últimas versiones del sistema operativo Android el SMA funciona bastante bien. Sin embargo, para la versión de Android 2.3.3 (Gingerbread) la visualización de los componentes no es la mejor debido a que algunos botones se desordenan, presenta problemas de conexión con la plataforma de JADE y algunos recursos pueden perder su formato debido a la obsolescencia de las aplicaciones de ejecución de videos, audio, pdf, etc.

**Tabla 5-9:** Validación del despliegue de la aplicación en diversas versiones del Sistema Operativo Android.

Factor	Android 2.3.3	Android 4.2.2	Android 4.4
¿Cómo fue la visualización general de los componentes de la aplicación?	Mala	Buena	Buena
¿Los servicios de awareness funcionaron correctamente?	No, algunas librerías de JADE no funcionaban correctamente para esta versión y los componentes no se veían bien.	Si	Si
¿Las notificaciones funcionaron correctamente?	Si	Si	Si
¿Los recursos que necesitaban audio o video, funcionaron correctamente?	No, aunque algunos recursos perdían formato	Si	Si
¿Los mecanismos como chat o video como mecanismos de contacto funcionaron correctamente?	Si	Si	Si
¿El mecanismo de ubicación	Si	Si	Si

---

de usuarios funcionó correctamente?

---

**b) Validación del despliegue de la aplicación en diversos dispositivos móviles**

Para la validación a nivel del dispositivo los resultados fueron muy satisfactorios, puesto que el despliegue de la aplicación no presentó mayores inconvenientes. Se consideraron los tres dispositivos que se observan en la tabla 5-10, debido a la diversidad de sistemas operativos y por el tamaño de las pantallas (5 pulgadas, 4 pulgadas y 10.1 pulgadas respectivamente).

**Tabla 5-10:** Validación del despliegue de la aplicación en diversos dispositivos móviles.

Factor	Smartphone Sony Xperia Z1	Smartphone Samsung Galaxy S3 mini	Tablet Samsung Note 2 10.1
Sistema Operativo	Android 4.4 - KitKat	Android 4.2 – Jelly Bean	Android 4.3 – Jelly Bean
¿Cómo fue la visualización general de los componentes de la aplicación?	Buena	Buena	Regular, algunos componentes se desordenaron
¿Los servicios de awareness funcionaron correctamente?	Si	Si	Si
¿Las notificaciones funcionaron correctamente?	Si	Si	Si
¿Los recursos que necesitaban audio o video, funcionaron correctamente?	Si	Si	Si
¿Los mecanismos como chat o video como mecanismos de contacto funcionaron correctamente?	Si	Si	Si
¿El mecanismo de ubicación de usuarios funcionó correctamente?	Si	Si	Si

#### 5.5.4 Validación general del SMA

Para la validación general del SMA de u-learning se consideraron ciertas características que fueron evaluadas a partir de métricas propuestas por (Restrepo, 2012). Es importante aclarar que aunque dichas métricas están orientadas a evaluar el desempeño de un sistema de inteligencia ambiental, excluyendo la característica de invisibilidad se acoplan perfectamente a la evaluación del modelo propuesto en esta tesis, ya que

comparten características tales como interactividad, ubicuidad, adaptatividad, entre otras. Cabe señalar que la característica de invisibilidad para un sistema de inteligencia ambiental consiste en determinar la capacidad que tiene el sistema para adaptar el entorno sin que el usuario pueda percibirlo o sin que tenga que realizar acciones evidentes para lograrlo. Este enfoque propone una evaluación a partir de métricas cualitativas y cuantitativas, las métricas cualitativas consideradas fueron: interactividad, conectividad, ubicuidad, invisibilidad, adaptatividad, sensibilidad al contexto; mientras que las cuantitativas son: latencia, completitud y escalabilidad. A continuación se presenta el proceso de evaluación a partir de dichas métricas:

#### a) Validación cualitativa

Según (Restrepo et al., 2011), la evaluación del desempeño de un sistema inteligente ubicuo y sensible al contexto de manera cualitativa puede llevarse a cabo a través de un vector definido por cinco características intrínsecas, que son:

- ✓ **Interactividad:** define la reducción de la interacción explícita del usuario con el sistema, ya que el sistema tiene la capacidad de inferir las situaciones y necesidades del usuario a partir de las actividades observadas.
- ✓ **Conectividad:** se refiere a la capacidad de brindar mecanismos que permitan la conexión de los usuarios con el sistema.
- ✓ **Ubicuidad:** cualidad que permite al sistema estar disponible en cualquier momento y lugar.
- ✓ **Adaptatividad:** capacidad del sistema para adaptarse o adaptar información a los gustos y necesidades de los usuarios.
- ✓ **Sensibilidad al contexto:** define la capacidad que tiene el sistema para recopilar información contextual del usuario, con el fin de adaptarse no solo a las necesidades y gustos sino también al entorno que lo rodea.

**Tabla 5-11:** Validación cualitativa del SMA.

Característica	Calificación	Justificación
Interactividad y usabilidad	Media-Alta	El SMA infiere situaciones y necesidades del usuario sin

		<p>tener interacción explícita. Además, es fácil de usar ya que cuenta con interfaces amigables propias del sistema operativo Android.</p>
<p>Conectividad</p>	<p>Alta</p>	<p>La conexión con el SMA es fácil e intuitiva, y puede realizarse desde cualquier dispositivo móvil que cuente con sistema operativo Android</p>
<p>Ubicuidad</p>	<p>Alta</p>	<p>El SMA proporciona interfaces ubicuas que permiten la conexión en cualquier lugar y momento.</p>
<p>Adaptatividad</p>	<p>Media-Alta</p>	<p>El SMA es muy adaptativo ya que tiene la capacidad de adaptar diferentes recursos educativos tales como OA y asistentes de aprendizaje, a los gustos y/o limitaciones del usuario.</p>
<p>Sensibilidad al contexto</p>	<p>Media-Alta</p>	<p>El SMA es sensible al contexto ya que tiene la capacidad de recopilar información contextual a través de servicios de awareness para realizar recomendaciones mucho más acertadas a los usuarios.</p>

## b) Validación cuantitativa

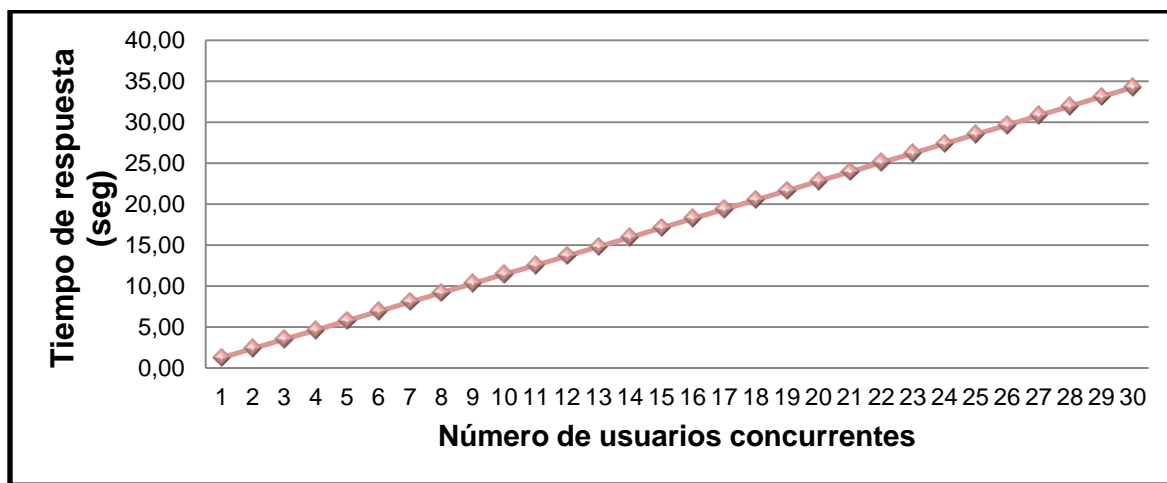
Para la validación cuantitativa se tuvieron en cuenta principalmente dos métricas: la latencia y la escalabilidad, las cuales son detalladas a continuación.

#### ✓ Latencia o tiempo de respuesta del sistema SMArt CVA

La latencia o tiempo de respuesta del sistema puede ser definido como el tiempo que transcurre entre la solicitud de una funcionalidad o servicio y la entrega de la respuesta. Para la medición de la latencia en el SMA fue seleccionada la funcionalidad de planificación, ya que es una de las tareas más recurrentes, importantes y solicitadas. A partir de la selección de la funcionalidad, se realizaron treinta solicitudes simultáneas de treinta usuarios conectados concurrentemente. El resultado de dicha validación se puede observar en la figura 5-10 en donde se presenta una relación de incremento lineal, es decir, si varios usuarios solicitan esta funcionalidad simultáneamente, el tiempo de respuesta se incrementará linealmente, según la siguiente ecuación:

$$l = \alpha n + \beta$$

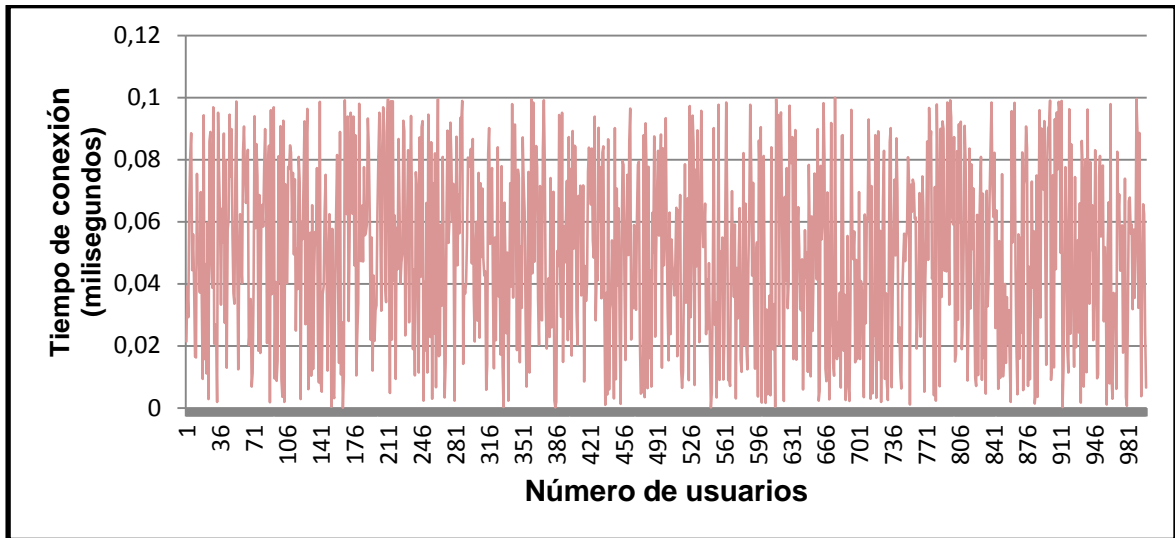
Donde  $l$  es la medida de la métrica de latencia y  $n$  es el número de usuarios concurrentes ( $\alpha = 1.1538$ ,  $\beta = -0.3845$ ).



**Figura 5-10:** Latencia o tiempo de respuesta del SMA.

De manera similar, se midió la latencia en la conexión concurrente de varios usuarios. Para esta prueba se realizó una prueba de estrés al servidor con mil usuarios (ver figura 5-11). De la prueba se puede concluir que los tiempos de respuesta para la conexión de usuarios concurrentes es muy buena, ya que a pesar del gran número de dispositivos

móviles que establecieron conexión, los tiempos siempre oscilaron entre 0,01 y 0,1 milisegundos.



**Figura 5-11:** Tiempos de conexión de los usuarios al SMA.

✓ **Escalabilidad del sistema SMArt CVA**

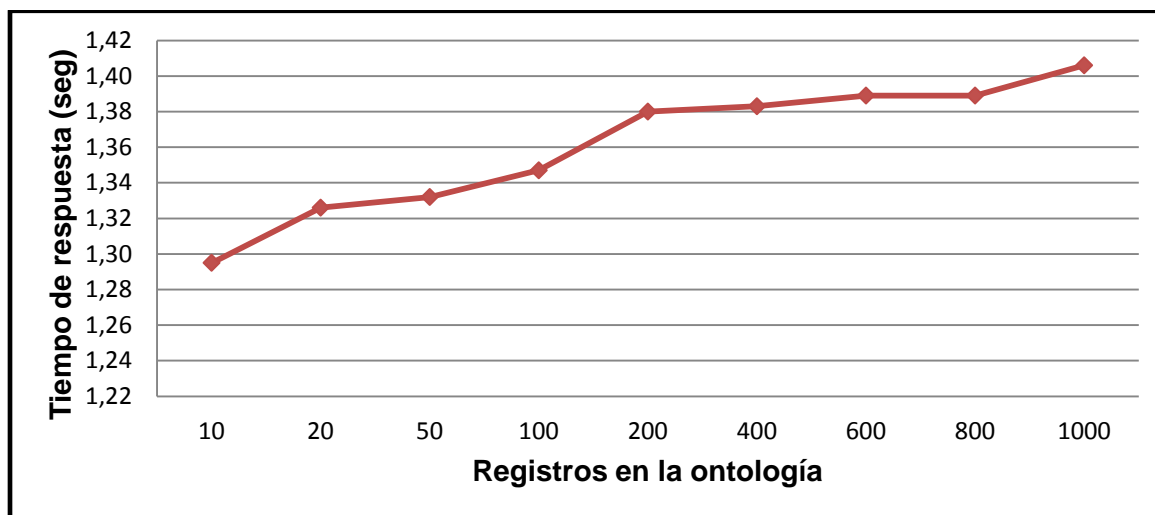
La escalabilidad permite validar el desempeño del SMA ubicuo en el momento en que el número de usuarios o de solicitudes se incrementa drásticamente. Esta métrica comprende la medición de dos aspectos: (1) el tiempo de respuesta cuando aumenta el tamaño de las fuentes de información, en nuestro caso la ontología y (2) el tiempo de respuesta cuando se aumenta el número de usuarios concurrentes en la plataforma.

**Tabla 5-12:** Tiempo de respuesta del SMA al aumentar los registros en la ontología.

Registros en la ontología	tiempo procesamiento
10	1,30
20	1,33
50	1,33
100	1,35
200	1,38
400	1,38
600	1,39

<b>800</b>	1,39
<b>1000</b>	1,41

Con base en lo anterior el primer aspecto a medir fue el tiempo de respuesta al aumentar la información contenida dentro de la ontología (ver tabla 5-12). La figura 5-9 presenta el resultado de esta prueba, de la cual se puede concluir que al aumentar drásticamente los registros referentes a perfiles de usuario y a recursos educativos, los tiempos de respuesta no se alteran drásticamente. Esto permite concluir que la escalabilidad del sistema desde el punto de vista de la información es bastante buena, puesto que los valores siempre oscilan entre 1,28 segundos y 1,41 segundos a pesar de que la información se altera drásticamente.



**Figura 5-12:** Tiempo de respuesta del SMA cuando aumenta la cantidad de registros en la ontología.

El segundo aspecto de la métrica de escalabilidad entonces, buscó determinar cómo varía el desempeño del SMA cuando el número de usuarios aumenta. Su resultado permite evidenciar en qué proporción se altera el tiempo de latencia. La fórmula para su medición, se presenta a continuación:

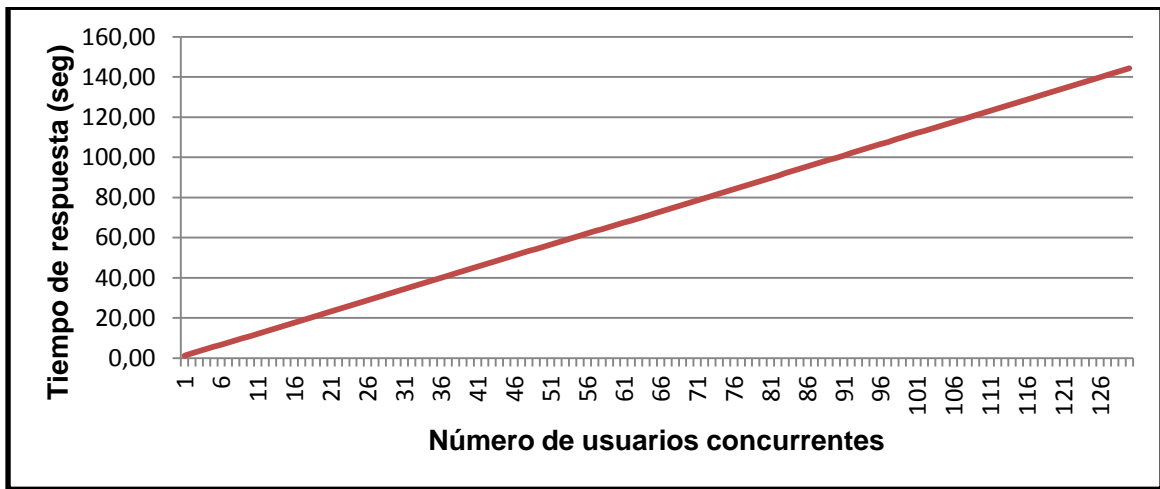
$$Escalabilidad = \frac{Latencia_{max} - Latencia_{min}}{n}$$



Donde  $Latencia_{max}$  y la  $Latencia_{min}$  representan los valores máximo y mínimo de la latencia calculada previamente y  $n$  hace referencia al número de usuarios considerados. Para medir la escalabilidad se consideraron entonces los datos de la métrica de latencia de la figura 5-10, de los cuales se tomaron los siguientes:  $Latencia_{min} = 1,26$ ,  $Latencia_{max} = 34,24$  y  $n = 30$  y se obtuvo:

$$Escalabilidad_{previa} = \frac{34,24 - 1,26}{30} = 1.01$$

Esto permitió determinar la escalabilidad para un conjunto de solicitudes inicial, la cual muestra la tasa de cambio promedio de cambio de la respuesta de un usuario con respecto a otro. Posteriormente se incrementó este número de solicitudes a 130 y se obtuvo la figura 5-13.



**Figura 5-13:** Tiempo de respuesta del SMA cuando aumenta el número de usuarios concurrentes.

De manera análoga se realizó la medición de la escalabilidad para la segunda toma de datos y se obtuvo:

$$Escalabilidad_{actual} = \frac{144,32 - 1,20}{130} = 1.1$$

Para establecer una calificación para la escalabilidad se definieron los siguientes valores:

**Tabla 5-13:** Criterios de calificación de la escalabilidad.

Calificación de la escalabilidad	Criterio
----------------------------------	----------

$$\text{Buena} \quad \Delta\text{Escalabilidad} = \left( \frac{\text{Escalabilidad}_{\text{actual}} - \text{Escalabilidad}_{\text{previa}}}{\text{Escalabilidad}_{\text{previa}}} \right) < 0.5$$

$$\text{Mala} \quad \Delta\text{Escalabilidad} = \left( \frac{\text{Escalabilidad}_{\text{actual}} - \text{Escalabilidad}_{\text{previa}}}{\text{Escalabilidad}_{\text{previa}}} \right) > 0.5$$

Se aplicó la métrica para determinar la calificación de la escalabilidad para el prototipo implementado y el resultado arrojado fue:

$$\Delta\text{Escalabilidad} = \left( \frac{1.1 - 1.01}{1.01} \right) = 0.08 < 0.5$$

Esto permite concluir que la escalabilidad del SMA es bastante buena.

## 5.6 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se llevó a cabo la implementación y validación del prototipo basado en el modelo propuesto para esta tesis, mostrando su viabilidad y posible desarrollo. Primero se logró desplegar la plataforma multi-agente JADE en el servidor y posteriormente se integraron las plataformas móviles de los usuarios a través del sistema operativo Android. La integración de las plataformas móviles permitió el despliegue de las funcionalidades de planificación y servicios de awareness; adicionalmente se integró la representación ontológica y se evidenció el proceso de cosechado de información e inferencias realizadas a partir de ésta.

Para la validación del SMA se consideraron diferentes casos de estudio orientados a cuatro frentes: (1) se validaron las recomendaciones realizadas a partir de la ontología, desde el punto de vista de los estudiantes y de los profesores. (2) se validaron los servicios de awareness ofrecidos por el SMA a partir de una encuesta realizada en el curso de Inteligencia Artificial, (3) se validó la funcionalidad móvil mediante el despliegue del SMA en diversos sistemas operativos y dispositivos móviles. Finalmente, (4) se realizó una validación general del SMA a nivel cualitativo y cuantitativo.

Los resultados arrojados durante la fase de validación del SMA permitieron concluir:

- a)** Las recomendaciones realizadas a partir de inferencias ontológicas son muy acertadas.
- b)** Los servicios de awareness tuvieron gran aceptación dentro de la población encuestada; sin embargo, existen problemas en el entendimiento de algunos servicios.
- c)** La validación de la funcionalidad de la aplicación móvil fue muy satisfactoria, ya que el despliegue de las funcionalidades fue bueno para los diversos sistemas operativos y dispositivos considerados.
- d)** La validación general del SMA arrojó altos índices de escalabilidad para un número de usuarios concurrentes en aumento y un tiempo de respuesta con crecimiento lineal, lo que indica que si se integra un mecanismo que permita la inferencia síncrona a partir de la ontología que es el proceso en donde se encuentra el cuello de botella, será posible mejorar el rendimiento del SMA. A nivel cuantitativo el SMA responde bien a las métricas establecidas que definen un SMA ubicuo, personalizado, sensible al contexto y adaptativo.



## **6. Conclusiones y Trabajo Futuro**

### **6.1 Conclusiones y Aportes de la tesis**

El presente trabajo ha permitido la materialización de un modelo de SMA ubicuo, adaptativo y sensible al contexto para ofrecer recomendaciones personalizadas de recursos educativos utilizando ontologías, brindando una posible solución a las necesidades actuales referentes a los métodos de enseñanza-aprendizaje virtual. Además, ha permitido integrar diferentes herramientas para la selección de contenidos, la planificación de cursos y la generación de servicios de awareness a partir de plataformas móviles que brindan al SMA características de ubicuidad. Los resultados obtenidos muestran que el uso de este tipo de tecnologías favorece la adquisición del conocimiento por parte de los estudiantes y brinda mecanismos que despiertan el interés de éstos, proporcionando un ambiente de aprendizaje continuo y accesible en cualquier momento y lugar. De igual manera, se lograron alcanzar todos los objetivos planteados en la propuesta de tesis de la siguiente manera:

- Se caracterizaron e identificaron los elementos propios asociados a la computación ubicua, las ontologías, la adaptación al usuario, la sensibilidad al contexto y los sistemas de recomendación a partir del marco teórico y la revisión de trabajos de investigación relacionados.
- Se identificaron los enfoques más relevantes para la representación del conocimiento a partir de ontologías mediante la revisión de trabajos y se propuso una integración de todos los elementos propios del sistema de e-learning a través de una ontología de dominio específico que se desarrolló utilizando la metodología Methontology.
- Se especificó, analizó y se diseñó un SMA de e-learning ubicuo, adaptativo y sensible al contexto que integró los elementos previamente caracterizados a partir de la metodología Prometheus.

- Se evaluaron diferentes herramientas de desarrollo de SMA y se seleccionó JADE para el desarrollo del modelo propuesto, de igual manera se realizó la integración de plataformas móviles Android que dotaran al SMA con ubicuidad y que permitieran recopilar la información contextual del usuario.
- Se validó el prototipo desarrollado a través de diversos casos de estudio, utilizando métricas cualitativas y cuantitativas, también se validaron cada uno de los módulos que componen el SMA y exhiben las funcionalidades de planificación de CVA, recomendación de recursos educativos (OA y asistentes) y servicios de awareness. Esto permitió evidenciar la validez del modelo y la utilidad del mismo.

A continuación se presentan los principales aportes de esta tesis de maestría que estaban definidos dentro del alcance de la misma:

- Un modelo de SMA ubicuo, adaptativo y sensible al contexto para ofrecer recomendaciones personalizadas de recursos educativos utilizando ontologías, el cual tiene la capacidad de ofrecer servicios de awareness que permiten al usuario tener conciencia de sus estados dentro del SMA.
- La extensión de la representación de los elementos descriptivos de los CVAs como temas, UBAs, OAs, etc.
- Una ontología de dominio específico que permitió representar el conocimiento referente a los CVAs, y perfiles de usuario e información contextual.
- Un módulo de planificación de contenidos a partir de inferencias realizadas con la ontología desarrollada.
- Un módulo móvil que brinda ubicuidad al SMA teniendo capacidad de acceso en cualquier lugar y momento por parte de los usuarios.
- Se integraron diversas tecnologías que permitieron la implementación de un prototipo funcional basado en la arquitectura propuesta.
- Se aplicó el modelo propuesto a un caso de estudio en donde se evidenció la sensibilidad al contexto por parte del SMA ubicuo.

Adicionalmente, se presentan los aportes que superan los objetivos propuestos para el desarrollo de esta tesis:

- La construcción de servicios de awareness que son muy útiles para crear conciencia en el estudiante y mejoran el desempeño en el desarrollo de las actividades de aprendizaje.
- La integración del estándar IEEE-LOM para metadatos de OAs dentro de la ontología, lo cual permite realizar inferencias a través de la misma.

## 6.2 Trabajo Futuro

Como trabajo futuro se plantea 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 a 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 igual manera se pretende extender el modelo de contexto con el fin de recuperar mayor cantidad de información que permita adaptar de mejor manera las recomendaciones. Se busca también considerar aspectos orientados a las discapacidades físicas de los usuarios como visión o audición disminuidas, entre otros, logrando así adaptar de mejor manera los contenidos. A partir de la obtención de esta información, se pretende integrar un módulo que permita adaptar basado en el perfil del estudiante las interfaces gráficas de la aplicación de manera inteligente, generando así un mayor interés por parte del usuario y asistiendo a usuarios con discapacidades físicas.

Otro posible trabajo que se plantea a futuro es la mejora de los servicios de awareness que fueron considerados ambiguos como son los recursos accedidos y la vista histórica de actividades por parte de los estudiantes. Se plantea mejorar también algunas interfaces móviles con el fin de que sean más usables e intuitivas.

Es importante aclarar que el módulo de evaluación de temáticas aunque no hace parte del alcance de esta tesis, está en proceso de construcción y hace parte de futuras mejoras al sistema.

Finalmente, se busca integrar un módulo de detección automática de fallas a través de la información arrojada por los servicios de awareness e integrar el sistema SMArtCVA con otras técnicas de Inteligencia Artificial como Lógica Difusa, Redes Bayesianas y Sistemas Expertos para mejorar su efectividad y rendimiento.





## Referencias Bibliográficas

- Ahmad, S., & Bokhari, M. (2012). A New Approach to Multi Agent Based Architecture for Secure and Effective E-learning. Artículo científico en revista, *International Journal of Computer Applications*, ISSN: 0975 – 8887. vol. 46, no. 22, pp. 26–29.
- Arias, F. (2009). *modelo multi-agente para la planificación instruccional y selección de contenidos en cursos virtuales adaptativos*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.
- Bellifemine, F., Poggi, A., & Rimassa, G. (1999). JADE – A FIPA-compliant Agent Framework. Artículo científico en congreso, *Proceedings of PAAM*, pp. 97-108.
- Benjamins, V. R., Casanovas, P., Breuker, J., & Gangemi, A. (Eds.). (2005). *Law and the Semantic Web*. Libro de investigación, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-32253-5, doi:10.1007/b106624. vol. 3369.
- Berjon, R., Feroso, A., Beato, E., Mateos, M., Sanchez, M. A., Manzano, M. I., & Gil, M. J. (2008). IWPAAMS2007-08: Multiagent System For Information Integration And Consulting In XML Format. Artículo científico en revista, *IEEE Latin America Transactions*, 535–542. doi:10.1109/TLA.2008.4908187. vol. 6, no. 6.
- Bernardez, M. L. (2007). *Diseño, producción e implementación de e-learning: Metodología, herramientas y modelos*. Libro de investigación. AuthorHouse. ISBN: 1434321088. Vol. 1, no. 1, pp. 220.
- Berners-Lee, T., & Hendler, J. (2001). Publishing on the semantic web. Artículo científico en revista. *Nature*, doi:10.1038/35074206. , Vol. 410, no. 6832, pp. 1023-1024.
- Bez, M., Vicari, R. M., Silva, J. M. C. da, Ribeiro, A., Guz, J. C., Passerino, L., Roesler, V. (2010). Proposta Brasileira de Metadados para Objetos de Aprendizagem Baseados em Agentes (OBAA). Artículo científico en revista. *Revista RENOTE*. ISSN: 1679-1916. Vol. 8, no. 2.
- Brusilovsky, P., & Peylo, C. (2003). Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems. Artículo científico en revista. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Vol. 13, no. 2-4, pp. 159–172.
- Burke, R. (2002). Hybrid Recommender Systems: Survey and Experiments. Artículo científico en revista. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, ISSN: 0924-1868 Vol. 12, no. 4, pp. 331–370.

- Cabero Almenara, J. (2006). La calidad educativa en el e.Learning: sus bases pedagógicas. Artículo científico en revista, *Revista Educación Médica*, ISSN: 1575-1813, doi:10.4321/S1575-18132006000700003. Vol. 9, no. 2, pp. 7–12.
- Callejas Cuervo, M., Hernández Niño, E. J., & Pinzón Villamil, J. N. (2011). Learning objects: a state of the art. Artículo científico en revista. *Revista Entramado*, ISSN: 1900-3803. Vol. 7, no. 1, pp. 176–189.
- Carrera, Á., Iglesias, C. A., García-Algarra, J., & Kolařík, D. (2014). A real-life application of multi-agent systems for fault diagnosis in the provision of an Internet business service. Artículo científico en revista. *Journal of Network and Computer Applications*, ISSN: 1084-8045. doi:10.1016/j.jnca.2012.11.004. Vol. 37, pp. 146–154.
- Carrillo, Á. (2007). *Agents ubiquitaires pour un accès adapté des utilisateurs nomades aux Systèmes d'Information : Le Framework PUMAS*. Tesis de Doctorado. Université De Grenoble I (Scientifique Et Medicale - Joseph Fourier).
- Casali, A., Gerling, V., Deco, C., & Bender, C. (2011). Sistema inteligente para la recomendación de objetos de aprendizaje. Artículo científico en revista. *Revista Generación Digital*, Universidad de Pamplona – Colombia. ISSN: 1909-9223. Vól 9, no. 1, pp. 88–95.
- Caytiles, R. D., Jeon, S.-H., & Kim, T. (2011). U-Learning Community: An Interactive Social Learning Model Based on Wireless Sensor Networks. Artículo científico en conferencia. In *2011 International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks*. IEEE. doi:10.1109/CICN.2011.165. pp. 745–749.
- Cazella, S. C., Reategui, E. B., & Nunes, M. A. (2010). A Ciência da Opinião: Estado da arte em Sistemas de Recomendação. Artículo científico en conferencia. *JAI: Jornada de Atualização Em Informática Da SBC. Rio de Janeiro, RJ: PUC Rio*, pp. 161–216.
- Charitonos, K., Blake, C., Scanlon, E., & Jones, A. (2012). Museum learning via social and mobile technologies: (How) can online interactions enhance the visitor experience?. Artículo científico en revista. *British Journal of Educational Technology*, ISSN: 1467-8535, doi:10.1111/j.1467-8535.2012.01360.x. Vól. 43, no. 5, pp. 802–819.
- Chen, C.-C., & Huang, T.-C. (2012). Learning in a u-Museum: Developing a context-aware ubiquitous learning environment. Artículo científico en revista. *Computers & Education*, ISSN: 0360-1315. doi:10.1016/j.compedu.2012.04.003. Vol. 59, no. 3, pp. 873–883.
- Corcho, O., Fernandez, M., Gómez, A., & López, A. (2005). Building Legal Ontologies with METHONTOLOGY and WebODE. Artículo científico en libro. In *Law and the Semantic Web*. Springer Berlin Heidelberg. ISBN: 978-3-540-32253-5. pp. 142–157.

- Cruz Pérez, G., & Galeana, L. (2005). Los fundamentos biológicos del aprendizaje para el diseño y aplicación de Objetos de Aprendizaje. Artículo científico en revista. *Revista CEUPROMED, Universidad de Colima, México*.
- DAgostino, E., Casali, A., Corti, R., & Torres, A. (2005). Sistema de Apoyo al Aprendizaje Diagnóstico Utilizando Perfiles de Usuario: EndoDiag II. Artículo científico en conferencia. VIII Simposio Argentino de Informática y Salud – SIS 2005. *Eia.udg.es*, pp. 1–14.
- Dey, A. K. (2001). Understanding and Using Context. Artículo científico en revista. *Personal and Ubiquitous Computing*, ISSN: 1617-4909, doi:10.1007/s007790170019. Vol. 5, no. 1, pp. 4–7.
- Dourish, P., & Bellotti, V. (1992). Awareness and coordination in shared workspaces. In *Proceedings of the 1992 ACM conference on Computer-supported cooperative work - CSCW '92* (pp. 107–114). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/143457.143468
- Downes, S. (2001, July 1). Learning Objects: Resources For Distance Education Worldwide. Artículo científico en revista. *The International Review of Research in Open and Distance Learning*. ISSN: 1492-3831. Vol. 2, no. 1.
- Duque, N. D. (2009). *Modelo Adaptativo Multi-Agente para la Planificación y Ejecución de Cursos Virtuales Personalizados*. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.
- Duque, N. D., & Ovalle, D. A. (2011). Artificial Intelligence planning techniques for adaptive virtual course construction. Artículo científico en revista. *Revista DYNA*. ISSN: 0012-7353. Vol. 78, no. 170, pp. 70–78.
- Fermoso, A., Sánchez, S., & Sicilia, M. (2008). Una ontología en OWL para la representación semántica de objetos de aprendizaje. Artículo científico en conferencia. In *V Simposio Pluridisciplinar sobre Diseño y Evaluación de Contenidos Educativos Reutilizables*.
- Franco, O. H., Castillo, L. F., Corchado, J. M., & Lopez, C. A. (2007). Multiagent system for software monitoring and users' activities in a network equipment. Artículo científico en revista. *Scientia et Technica, Universidad Tecnológica de Pereira*. ISSN: 0122-1701. Vol. 1, no. 34, pp. 387 – 391.
- Garcés, E., Belmonte, A., & Sicilia, M. (2009). Combinación de metadatos y ontologías en la agregación de repositorios heterogéneos: perfiles, harvesting y predicados. Artículo científico en conferencia. In *Fomento e Innovación con Nuevas Tecnologías en la Docencia de la Ingeniería - FINTDI 2009*.

- Gaver, W. W. (1991). Sound support for collaboration. Artículo científico en conferencia. ECSCW'91 Proceedings of the second conference on European Conference on Computer-Supported Cooperative Work, ISBN:0-7923-1439-5, pp. 293–308.
- Giorgini, P., & Henderson-Sellers, B. (2005). *Agent-Oriented Methodologies*. Libro de investigación. (B. Henderson-Sellers & P. Giorgini, Eds.). IGI Global. ISBN: 9781591405818, doi:10.4018/978-1-59140-581-8, Vol 1, no. 1, pp. 107 – 135.
- Giorgini, P., Henderson-Sellers, B., & Winikoff, M. (Eds.). (2004). *Agent-Oriented Information Systems*. Libro de investigación. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/b98189. Vol. 3030, pp. 16 – 26.
- Gómez, S., Zervas, P., Sampson, D. G., & Fabregat, R. (2014). Context-aware adaptive and personalized mobile learning delivery supported by UoLmP. Artículo científico en revista. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, ISSN: 1018-3647, doi:10.1016/j.jksuci.2013.10.008. Vol. 26, no. 1, pp. 47–61.
- Henderson-Sellers, B., Debenham, J., & Gonzalez-Perez, C. (2005). Conceptual Modelling within the MAS-CommonKADS Plus OPEN Method Engineering Approach. Artículo científico en conferencia. In *Third International Conference on Information Technology and Applications (ICITA'05)* IEEE. doi:10.1109/ICITA.2005.104. Vol. 1, pp. 29–34.
- Hwang, G.-J., Yang, T.-C., Tsai, C.-C., & Yang, S. J. H. (2009). A context-aware ubiquitous learning environment for conducting complex science experiments. Artículo científico en revista. *Computers & Education*, ISSN: 0360-1315 doi:10.1016/j.compedu.2009.02.016. Vol. 53, no. 2, pp. 402–413.
- Iglesias Fernández, C. Á. (1998). *Definición de una metodología para el desarrollo de sistemas multiagente*. Tesis de Doctorado. Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos Universidad Politécnica de Madrid.
- Odell, J., Van Dyke Parunak, H., Bauer, B. (2000). Extending UML for Agents, Artículo científico. *1001*, 48103, pp. 1 – 15.
- Jiménez, J. A., Ovalle, D. A., & Branch, J. W. (2009). Conceptualización y análisis de un sistema multi-agente pedagógico utilizando la metodología mas-commonkads. Artículo científico en revista. *Revista Dyna*. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Facultad de Minas. ISSN: 0012-7353. Vol. 76, no. 158.
- Kinshuk, D., & Sabine, G. (2012). Ubiquitous Learning. Libro de investigación. In N. M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. Boston, MA: Springer US. ISBN 978-1-4419-1427-9, doi:10.1007/978-1-4419-1428-6. Vol 4, no. 1.
- Learning Technology Standards Committee.(2002). IEEE Standard for Learning Object Metadata. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, New York.

- Lee, H., Choi, Y., & Kim, Y.-J. (2011). An adaptive user interface based on spatiotemporal structure learning. Artículo científico en revista. *IEEE Communications Magazine*, ISSN: 0163-6804, doi:10.1109/MCOM.2011.5783996. Vol. 49, no. 6, pp. 118–124.
- Li, J. Z. (2010). Quality, Evaluation and Recommendation for Learning Object. Artículo científico en conferencia. *International Conference on Educational and Information Technology*, (Iceit), pp. 533–537.
- Lin, P., Thangarajah, J., & Winikoff, M. (2008). The Prometheus Design Tool (PDT) supports the structured design of intelligent agent systems. Artículo científico en conferencia. In *Proceedings of the 23rd national conference on Artificial intelligence*. Chicago: AAAI Press. Vol. 3, pp. 1884–1885.
- Luckin, R. (2010). *Re-designing Learning Contexts: Technology-rich*. Libro de investigación. *Learner-centred Ecologies*, ISBN: 978-0415554428. Routledge. Vol. 1, pp. 198.
- Mizhuero, K. (2009). Análisis , Diseño e Implementación de un Sistema Adaptivo de Recomendación de Información Basado en Mashups. Artículo científico en revista. *Revista Tecnológica ESPOL*. ISSN 1390-3659.
- Moreno, J., Ovalle, D. & Jimenez J. (2009). CIA: Framework for the creation and management of Adaptive Intelligent Courses. Artículo científico en conferencia. In *Proceedings of 9th World Conference on Computers in Education – WCCE*. Bento Gonçalves, Brazil.
- Muñoz, N., Cobos, C., Rivera, W., López, J., & Mendoza, M. (2010). Use of GAIA for modeling the behavior of characters in a real time strategy game. Artículo científico en revista. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, ISSN: 0120-6230. Vol. 1, no. 53, pp. 214–224.
- Noy, N., & McGuinness, D. (2001). *Ontology development 101: A Guide to creating your first ontology*. Libro de investigación. Vol. 15, no. 2.
- Ochoa, X. (2011). Learnometrics. Artículo científico en conferencia. In *Proceedings of the 1st International Conference on Learning Analytics and Knowledge - LAK '11*. New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/2090116.2090117. pp. 1–8.
- Ouyang, Y., & Zhu, M. (2008). eLORM: learning object relationship mining-based repository. Libro de investigación. *Online Information Review*, doi:10.1108/14684520810879863. Vol. 32, no. 2, pp. 254–265.
- Ovalle, D., Jiménez, J., Collazos, Claros, C., Pantoja, W., Cobos, R., Moreno-Llorena, J., Pifarré, M. & Argelagos, E. (2009). Guía metodológica para el seguimiento y evaluación de aprendizaje colaborativo asistido por el sistema KNOWCAT. Artículo científico en conferencia. *Memorias del Congreso de Facultades de Ingeniería de ACOFI – Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería*, pp.1-9.

- Padgham, L., & Winikoff, M. (2004). *Developing intelligent agent systems: a practical guide*. Libro de investigación. John Wiley. ISBN: 978-0-470-86120-2. Vol. 1, no. 1, pp. 225.
- Palfreyman, K., & Rodden, T. (1996). A protocol for user awareness on the World Wide Web. Artículo científico en conferencia. In *Proceedings of the 1996 ACM conference on Computer supported cooperative work - CSCW '96*. New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/240080.240236. pp. 130–139.
- Peng, H., Chou, C., & Chang, C.-Y. (2007). From Virtual Environments to Physical Environments: Exploring Interactivity in Ubiquitous-Learning Systems. Artículo científico en revista. *Educational Technology & Society*, ISSN: 1436-4522. Vol. 11, no. 2, pp. 54–66.
- Pérez X. (2005). Análisis sistemático de las interacciones en el curso virtual (de apoyo a la docencia) de cálculo II (matemáticas) y adaptación de la propuesta CERT para la evaluación en línea basada en niveles de confianza. *Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Departamento de Matemáticas*. Bogotá D.C.
- Primo, T. T., Behr, A., & Vicari, R. M. (2013). A Semantic Web Approach to Recommend Learning Objects. In J. M. Corchado, J. Bajo, J. Kozlak, P. Pawlewski, J. M. Molina, V. Julian, Artículo científico en conferencia. S. Giroux (Eds.), *Highlights on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-38061-7. Vol. 365, pp. 340 – 350.
- Ramos, E. & Nuñez, H. (2007). ONTOLOGÍAS: componentes, metodologías, lenguajes, herramientas y aplicaciones. Libro de investigación. *Lecturas en Ciencias de la Computación*. ISSN 1316-6239.
- Raju, P., & Ahmed, V. (2012). Enabling technologies for developing next-generation learning object repository for construction. Artículo científico en revista. *Automation in Construction*. ISSN: 0926-5805, doi:10.1016/j.autcon.2011.07.008. Vol. 22, pp. 247–257.
- Restrepo, S. (2012). Modelo de Inteligencia Ambiental basado en la integración de Redes de Sensores Inalámbricas y Agentes Inteligentes. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.
- Restrepo S.E., Montoya A., Ovalle D.A. (2011). Modelo de evaluación de Sistemas de Inteligencia Ambiental utilizando un Vector de Características Intrínsecas. Artículo científico en conferencia. II Congreso de Inteligencia Computacional. Medellín, Colombia.
- Rodríguez, P. (2013). Modelo de recomendación adaptativa de objetos de aprendizaje en el marco de una federación de repositorios, apoyado en agentes inteligentes y

- perfiles de usuario. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.
- Rodriguez, P., Tabares, V., Duque, N., Ovalle, D., & Vicari, R. (2013). BROA: An agent-based model to recommend relevant Learning Objects from Repository Federations adapted to learner profile. Artículo científico en revista. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*. ISSN: 1989-1660 doi:10.9781/ijimai.2013.211. Vol. 2, no. 1, pp. 6–11.
- Rugeles, R. (2014). *NUNCIUS: Sistema Adaptativo de Notificaciones en Entornos Nómadas*. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana.
- Salazar, O., Ovalle, D., & Duque, N. (2014). Sistema Multi-Agente para Recomendación de Recursos Educativos utilizando Servicios de Awareness y Dispositivos Móviles. Artículo científico en conferencia. In *LACLO 2014*.
- Salazar, O., Ovalle, D., & Giraldo, G. (2014). Sistema adaptativo basado en ontologías para la selección personalizada de recursos educativos en cursos virtuales. Libro de investigación. In *Ingeniería del software e ingeniería del conocimiento, dos disciplinas interrelacionadas*. Vol. 1, no. 1, pp. 20–28.
- Sanjuán, O., Torres, E., Castán, H., Gonzalez, R., Pelayo, C., & Rodriguez, L. (2009). Viabilidad de la aplicación de Sistemas de Recomendación a entornos de e-learning. Artículo científico. Universidad de Oviedo, España.
- Shoham, Y., & Leyton-Brown, K. (2008). *Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations*. Libro de investigación. . ISBN: 9780521899437. Vol. 1, pp. 13-28.
- Siadaty, M., Torniai, C., Gašević, D., Jovanovic, J., Eap, T. M., & Hatala, M. (2008). m-LOCO: An Ontology-based Framework for Context-Aware Mobile Learning. Artículo científico en congreso. In: *Proceedings of the 6th International Workshop on Ontologies and Semantic Web for Intelligent Educational Systems collocated with the 9th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Montreal, Canada*.
- Sicilia, M.-A., Garcia-Barriocanal, E., Sanchez-Alonso, S., & Soto, J. (2005). A semantic lifecycle approach to learning object repositories. Artículo científico en conferencia. In *Advanced Industrial Conference on Telecommunications/Service Assurance with Partial and Intermittent Resources Conference/E-Learning on Telecommunications Workshop (AICT/SAPIR/ELETE'05)* (pp. 466–471). IEEE. doi:10.1109/AICT.2005.13
- Tramullas, J. (2006). Agentes y ontologías para el tratamiento de información: clasificación y recuperación en Internet. Artículo científico en conferencia. In *IV Congreso ISKO España. Granada 22-24 de abril*. pp. 247–252.

- Vicari, R. M., Ribeiro, A., Carvalho, J. M., Rizzon, E., Primo, T., & Bez, M. (2010). Brazilian Proposal for Agent-Based Learning Objects Metadata Standard - OBAA. Libro de investigación. In S. Sánchez-Alonso & I. N. Athanasiadis (Eds.), *Metadata and Semantic Research*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-16552-8. Vol. 108, pp. 300–311.
- Vidal, C., Segura, A., Menéndez, V., Zapata, A., & Prieto, M. (2010). Metadata and Ontologies in Learning Resources Design. In M. D. Lytras, P. Ordonez De Pablos, A. Ziderman, A. Roulstone, H. Maurer, & J. B. Imber (Eds.), *Knowledge Management, Information Systems, E-Learning, and Sustainability Research*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-16318-0. Vol. 111, pp. 105–114.
- Vojak, C., Kline, S., Cope, B., McCarthey, S., & Kalantzis, M. (2011). New Spaces and Old Places: An Analysis of Writing Assessment Software. Artículo científico en revista. *Computers and Composition*. doi:10.1016/j.compcom.2011.04.004. Vol. 28, no. 2, pp. 97–111.
- Wang, S.-L., & Wu, C.-Y. (2011). Application of context-aware and personalized recommendation to implement an adaptive ubiquitous learning system. Artículo científico en revista. *Expert Systems with Applications*, ISSN: 0957-4174. doi:10.1016/j.eswa.2011.02.083. Vol. 38, no. 9, pp. 10831–10838.
- Weiser, M. (1999). The computer for the 21 st century. Artículo científico en revista. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, doi:10.1145/329124.329126. ISSN:1559-1662. Vol. 3, no. 3, pp. 3–11.
- Wiley, D. A. (2001). Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy. Libro de investigación. *The Instructional Use of Learning Objects*. Agency for Instructional Technology, ISBN: 978-0784208922. Vol. 2830, no. 435, pp. 1–35.
- Wooldridge, M. (2009). *An Introduction to MultiAgent Systems – Second edition*. Libro de investigación. ISBN: 0470519460. Vol. 1.
- Zervas, P., Ardila, S. E. G., Fabregat, R., & Sampson, D. G. (2011). Tools for Context-Aware Learning Design and Mobile Delivery. Artículo científico en conferencia. In *2011 IEEE 11th International Conference on Advanced Learning Technologies*. IEEE. doi:10.1109/ICALT.2011.164. pp. 534–535.
- Zhou, D., & Gao, J. (2010). Maintaining Approximate Minimum Steiner Tree and k-center for Mobile Agents in a Sensor Network. Artículo científico en conferencia. In *2010 Proceedings IEEE INFOCOM*. IEEE. doi:10.1109/INFCOM.2010.5462182 . pp. 1–5.