

Sistemas de Enseñanza / Aprendizaje basados en Agentes Inteligentes Pedagógicos

Demetrio Arturo Ovalle Carranza, Jovani Alberto Jiménez Builes

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Escuela de Sistemas
{dovalle; jajimen1}@unalmed.edu.co

Rosa Maria Viccari
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.
Instituto de Informática
rosa@inf.ufrgs.br

Recibido para revisión Septiembre 2005, aceptado Octubre 2005, versión final recibida Noviembre 2005

Resumen: En este artículo se hace una descripción de los Sistemas Multi-Agente para luego presentar el Ambiente Multi-Agente de Enseñanza/Aprendizaje ALLEGRO. ALLEGRO es un ambiente inteligente que integra las bondades de diferentes campos de investigación de la inteligencia artificial como la planificación instruccional (IP), razonamiento basado en casos (CBR), sistemas multi-agente (MAS), sistemas tutoriales inteligentes (ITS) y CSCL.

Palabras Clave: Inteligencia Artificial Distribuida, Sistemas Multi-Agente, Agentes Pedagógicos, Sistemas Tutoriales Inteligentes, Planificación Instruccional, Razonamiento Basado en Casos.

Abstract: This aim of this paper is to present the Multi-Agent Systems. Later is presented ALLEGRO: A Teaching/Learning Multi-Agent Environment. ALLEGRO is an intelligent environment that includes artificial intelligence mechanisms (Instructional Planning IP, Case-Based Reasoning CBR, Multi-Agent Systems MAS, Intelligent Tutoring Systems ITS, and Computer Supported Collaborative Learning CSCL).

Keywords: Distributed Artificial Intelligence, Multi-Agent System, Pedagogic Agent, Intelligent Tutoring Systems, Instructional Planning, Case-Based Reasoning.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad la educación mediada con tecnología esta evolucionando gracias al uso de técnicas de la inteligencia artificial. Los primeros sistemas de enseñanza - aprendizaje computarizado eran algorítmicos, rígidos, difíciles de modificar, de costosa producción y mantenimiento; y disponían de un plan instruccional condicional prefijado por un profesor. Estos sistemas se basaban principalmente en el modelo pedagógico conductista propuesto por Pavlov, Watson y Skinner.

La inteligencia artificial ha permitido un cambio radical de paradigma. El propósito de integrarla con educación radica fundamentalmente en aplicar sus técnicas al desarrollo de sistemas de enseñanza-aprendizaje asistidos por computador, con el objetivo de construir sistemas "más inteligentes". El término "inteligente" utilizado en estos sistemas queda determinado funda-

mentalmente por su capacidad de adaptación continua de la instrucción a las características del aprendizaje y del conocimiento de los diferentes usuarios [Wenger (1987)]. También queda establecido por la autonomía del sistema para tomar decisiones pedagógicas y por la flexibilidad que ofrece al conjunto de aprendices para utilizar una o varias metodologías de enseñanza [Jiménez (2005)].

Algunas de las técnicas y mecanismo son por ejemplo la Planificación Instruccional (IP), el Razonamiento Basado en Casos (CBR), los Sistemas Tutoriales Inteligentes (ITS) y los Sistemas Multi-Agente (MAS), entre otros. Así mismo, permite que los ambientes computarizado de enseñanza - aprendizaje se configuren como verdaderos laboratorios donde confluyen diversos modelos pedagógicos, como lo son: el constructivismo, conductismo, cognitivismo, histórico-social y teorías de aprendizaje colaborativo entre otros.

En la Sección 2 se hace una descripción de los sistemas multi-agente; en la 3 presenta el ambiente multi-agente de enseñanza - aprendizaje ALLEGRO; para finalmente, presentar las conclusiones, agradecimientos y referencias respectivamente en las últimas Secciones.

2 SISTEMAS MULTI-AGENTE

Los Sistemas de Multi-Agente (*Multi-Agent Systems*, MAS) surgen en la década de los 80s a partir de las investigaciones de los agentes de software, aunque fue en la década de los 90s donde ganó notoriedad digna de ser destacada [Wooldridge (2002)].

Los MAS provienen de las áreas de investigación de la Inteligencia Artificial Distribuida (*Distributed Artificial Intelligence*, DAI), la Solución de Problemas Distribuidos (*Distributed Problems Solving*, DPS) y la Inteligencia Artificial Paralela (*Parallel Artificial Intelligence*, PAI).

Un MAS es una sociedad organizada compuesta por agentes semiautónomos que interactúan entre sí, ya sea para colaborar en la solución de un conjunto de problemas o en la consecución de una serie de objetivos individuales o colectivos (Ver Figura 1). Estos agentes informáticos pueden ser homogéneos o heterogéneos y pueden tener metas comunes o no, pero siempre involucrarán algún grado de comunicación entre ellos [Lemaitre (1998)].

Cada uno de los agentes de software del MAS son programas que actúan en representación de sus usuarios humanos o ducios para realizar tareas complicadas de manejo de información, se comunican por medio del protocolo de paso de mensajes y realizando sus acciones concurrentemente. Poseen propiedades como: autonomía, habilidad social, reactividad, proactividad, movilidad, continuidad temporal, adaptabilidad y aprendizaje. Habitan en ciertos ambientes dinámicos y complejos, sensando y actuando de manera autónoma para adaptarse al ambiente; mediante lo anterior, realiza una serie de tareas o metas para las cuales fueron diseñados [Russell y Norving (2003) y Gomes, Boff y Viccari (2004)].

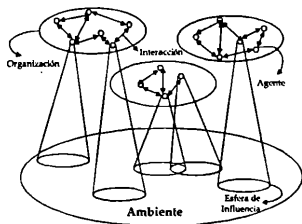


Figura 1: Estructura de los MAS [Jennings, et al. (2001)]

Los principios de los MAS han mostrado un potencial adecuado en el desarrollo de sistemas de enseñanza debido:

- La naturaleza de los problemas de enseñanza-aprendizaje son más fácilmente resueltos a través de un abordaje cooperativo [Oliveira y Viccari (1996)].
- Los sistemas deben ser capaces de adaptarse a los cambios en la estructura del ambiente [Ferber (1999)].
- Los agentes de software pueden representar conocimiento pedagógico y/o desempeñar tareas de tutoría para soportar y facilitar el aprendizaje humano [Giraffa y Viccari (1998)].

Los agentes pedagógicos pueden adaptar sus interacciones instruccionales a las necesidades de los aprendices y al estado actual del ambiente de aprendizaje, ayudando a los aprendices en la superación de sus dificultades y en el aprovechamiento de las oportunidades de aprendizaje. Poseen un conjunto de metas de enseñanza, planes instruccionales para la ejecución de esas metas (p.e. estrategias pedagógicas o de enseñanza), y recursos asociados en los ambientes de aprendizaje. Ellos colaboran con los aprendices y con otros agentes, proporcionando realimentación continua durante las Sesiones de trabajo [Jiménez (2005) y Giraffa y Viccari (1998)].

3 ALLEGRO: AMBIENTE MULTI-AGENTE DE ENSEÑANZA/APRENDIZAJE

Ambiente Multi-Agente de Enseñanza Aprendizaje ALLEGRO es un ambiente inteligente conformado por un Sistema Tutorial Inteligente (ITS) el cual permite brindar aprendizaje en forma individualizada y un Ambiente Colaborativo de Aprendizaje (CSCL) que ofrece aprendizaje en modo colaborativo. El ambiente fue modelado a través del enfoque de un MAS, debido a que ofrece las siguientes cualidades: Autonomía, flexibilidad y adaptabilidad.

Cuando se habla de autonomía se refiere a la iniciativa que toman los agentes del MAS para realizar acciones pedagógicas sin la intervención de los humanos con el propósito de que el aprendiz logre los IOs. También en la manera como el sistema evoluciona de manera independiente en el almacenamiento y selección de casos dentro del CBR sin la necesidad de expertos humanos. Cuando se habla de flexibilidad se refiere a que el aprendiz no solo utiliza una metodología para su aprendizaje (Individualizada/Colaborativa). Cuando se habla de adaptabilidad se refiere a que el contenido de la instrucción se moldea de acuerdo a las necesidades específicas y preferencias del aprendiz.

La IP de ALLEGRO utiliza la técnica de CBR (Ver Figura 14) es decir, utiliza la experiencia almacenada de

la solución exitosa de problemas similares pasados. En este sentido se puede afirmar que el sistema aprende en forma autónoma a partir de la experiencia con los aprendices, convirtiéndolo a la IP en una herramienta flexible con capacidad de adaptar los conocimientos con determinado grado de abstracción dependiendo del alumno.

El nombre del Ambiente MAS de Enseñanza/Aprendizaje ALLEGRO surgió por el acorde, armonía y viveza de los elementos que lo integran.

3.1 Metodología de Desarrollo

Para modelar el MAS se utilizó la metodología MAS-CommonKADS propuesta por Iglesias (1998) la cual permite la integración de técnicas de la ingeniería de conocimientos, ingeniería de software orientada a objetos e ingeniería de software de protocolos.

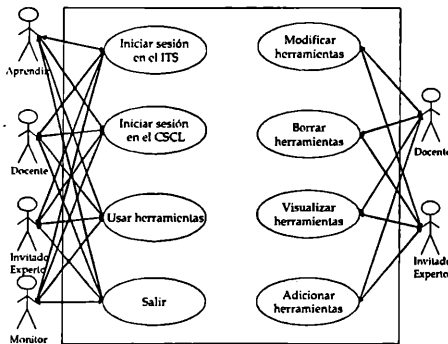


Figura 2: Casos de uso para los actores activos

La metodología se desarrolla a través de la construcción de siete modelos:

- Modelo de Agente: Describe las características de cada agente.
- Modelo de Tarea (Figura 3). Describe las tareas realizadas por los agentes.

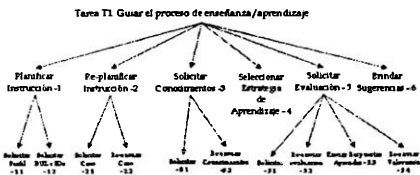


Figura 3: Descomposición de la Tarea T1: Guiar el proceso de enseñanza/aprendizaje

Tabla 1: Distribución Tareas - Agentes

Tareas/Agentes	Guiar proceso	Administrar unidades aprendizaje	Coordinar actividades en el ITS	Enviar contenidos	Evaluar	Colaborar
Tutor	X	X	X	X	X	X
Alumno				X		
Docente					X	
Invitado			X	X		X
Colaborador						X

- Modelo de la Experiencia (Figura 4). Describe el conocimiento que necesitan los agentes para llevar a cabo los objetivos encomendados.

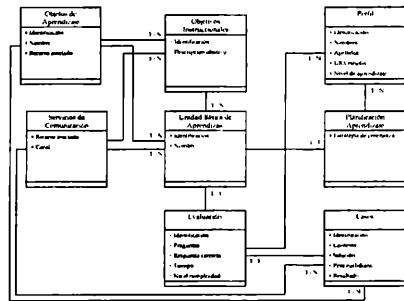


Figura 4: Diagrama de conceptos

- Modelo de Coordinación (Figuras 5 y 6). Describe las relaciones dinámicas entre los agentes software.

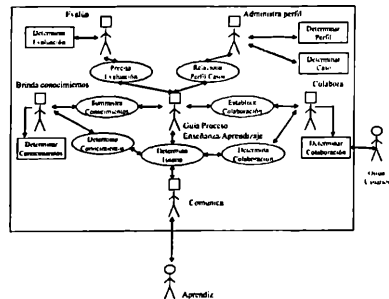


Figura 5: Casos de uso interno

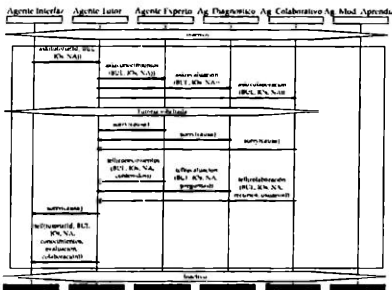


Figura 6: Diagrama de secuencia para las interacciones de la conversación C1: Determina tutoría

- Modelo de Comunicación (Figura 7). Describe las relaciones dinámicas entre los agentes humanos y los agentes software.

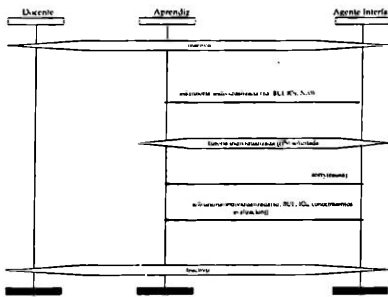


Figura 7: Interacciones genéricas de la conversación entre el aprendiz y el agente Interfaz en una sesión del (ITS)

- Modelo de la Organización (Figura 8). Describe las relaciones estructurales entre los agentes.



Figura 8: Jerarquía de clases

- Modelo de Diseño (Figura 9). Refina los modelos anteriores y decide qué arquitectura de agente es más adecuada para cada agente, así como los requisitos de la infraestructura de la red de agentes.

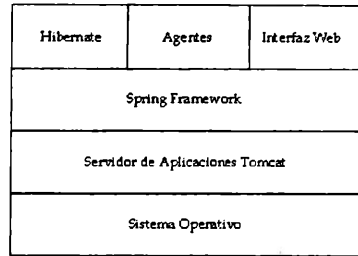


Figura 9: Diseño de la estructura de la plataforma

La aplicación de la metodología consiste en el desarrollo de los modelos. Cada modelo está compuesto por constituyentes (entidades modeladas) y relaciones entre los constituyentes. Se define una plantilla textual para describir cada constituyente, y estados de los constituyentes para describir su estado de desarrollo.



Figura 10: Agentes en acción durante la tarea de tutoría

El modelo de proceso software seguido combina un modelo dirigido por riesgos con un enfoque basado en componentes, determinando qué componentes pueden ser candidatos para su reutilización en cada ciclo.

3.2 Arquitectura del MAS

Algunos grupos de investigación en el contexto internacional, han desarrollado recientemente de MAS con propósito pedagógicos, algunos de ellos son MACES, AMPLIA, BAGHERA, MAS-PLANG y JADE entre otras [Viccari, Ovalle y Jiménez (2005)].

El MAS Pedagógico ALLEGRO difiere de los otros existentes que abordan de manera implícita los ITS y CSCL en su funcionamiento (Planificación de las acciones de tutoría, diagnóstico del perfil cognitivo del aprendiz, uso de estrategias pedagógicas, entre otras), la

- Selecciona la estrategia pedagógica adecuada, principalmente cuando el aprendiz comete un error.
Las estrategias permiten dar a conocer mejor un contenido del dominio. Dentro de las estrategias pedagógicas se puede contemplar la metodología de aprendizaje.
- Solicita al Agente Diagnóstico una evaluación para al aprendiz de acuerdo a su perfil y IOs.
- Detecta errores en el proceso del aprendiz, además brinda sugerencias, críticas y recomendaciones.
- Modelo del Aprendiz. Es el encargado de gerenciar el modelo de aprendizaje del aprendiz. Este modelo contempla: el estilo de aprendizaje, comprensión de los temas, limitaciones y nivel de conocimientos del aprendiz.
 - Mantiene información individualizada del aprendiz.
 - De acuerdo a la petición del Agente Tutor, se encarga de buscar, seleccionar y pasar el caso que más se adapte a las condiciones del problema (CBR).
- Interfaz. Es el puente entre los agentes humanos y los agentes de software. Sus funciones son:
 - Establecer y mantener la interacción con el aprendiz.
 - Permite desplegar los conocimientos y la colaboración en la pantalla del aprendiz.
- Experto. Es quien administra el conocimiento y contenidos del área o tema específico de enseñanza. Se compone de BULs y IOs.
 - Envía conocimientos al aprendiz cuando este lo solicita o a petición del Agente Tutor.
- Diagnóstico. Es el encargado de seleccionar y calificar el nivel de conocimientos del aprendiz.
- Colaborativo. Por solicitud del Agente Tutor, se encarga de buscar a otros aprendices que están tratando el mismo tema y con los cuales se puede establecer comunicación sincrónica o asincrónica para ofrecerle colaboración al aprendiz.
 - Agrupa a los aprendices por temática de estudio, perfiles o comportamiento.
 - Se comunica con el Agente Tutor.

3.2.3 Elementos Complementarios

- Base de Datos.
 - Evaluaciones. Contiene un banco de evaluaciones clasificadas de acuerdo a los IOs de la BULs y en varios niveles de complejidad.
 - Conocimientos. Contiene el dominio que se desea enseñar el cual se encuentra estructurado en BULs. Los conocimientos contemplan: Teorías, ejemplos, problemas resueltos, explicaciones, recursos multimedia y simulaciones entre otros.
 - Estrategias. Contiene material de apoyo especialmente en caso de error.
 - Perfiles. Contiene la información individualizada de cada uno de los aprendices, por ejemplo identificación, modelo de aprendizaje, diagnóstico nivel de aprendiz, histórico de errores, consultas, visitas, decisiones, entre otros.
 - Memoria de Casos. Almacena el conjunto de casos exitosos de cuando los aprendices han encontrado un problema y los han solucionado.
 - Memoria Global. Contiene un banco de problemas propuestos, la agenda de trabajo y los aportes que brinda el grupo de aprendices para solucionar los problemas.
- Servicios de Comunicación
 - Servicios de Comunicación Sincrónica. Permite interactuar directamente con los demás usuarios en tiempo real, utilizando: El chat, las pizarras compartidas, los editores multi-usuarios, la conferencia, la videoconferencia y la transferencia de archivos.
 - Servicios de Comunicación Asincrónica. Permiten que el aprendiz se comunique en forma no directa con los demás usuarios sin que el tiempo sea factor relevante, utilizando: El correo electrónico, los grupos de interés, el envío y recepción de archivos. Los usuarios también pueden tener comunicación no directa a través de un Tablero, consultándolo, publicando y modificando su contenido.

El Ambiente Multi-Agente de Enseñanza/Aprendizaje ALLEGRO puede funcionar bajo dos tipos de contextos de aprendizaje: El individualizado (ITS) y el colaborativo (CSCL). Los usuarios cuando lo deseen pueden pasar de un escenario de aprendizaje a otro. A continuación se expone lo que pueden hacer cada uno de los usuarios en cada uno de los ambientes.

- Buscar los artículos en el Tablero mediante una palabra o patrón.
- Visualizar el documento final de cierre donde aparecen las soluciones a los problemas, los aportes más relevantes y las conclusiones.

En el Ambiente de Aprendizaje Colaborativo, el asistente de docencia tiene la posibilidad de realizar las siguientes operaciones:

- Fijar la agenda de una determinada sesión (BUL) brindando las instrucciones necesarias.
- Elaborar y dar a conocer los problemas propuestos publicándolos en el Tablero.
- Sugerir bibliografía y recursos a los aprendices.
- Visualizar los aportes publicados en el Tablero.
- Depurar, redactar y publicar el documento final de cierre donde aparecen las soluciones a los problemas, los aportes más relevantes y las conclusiones.

En el Ambiente de Aprendizaje Colaborativo, el docente tiene la posibilidad de realizar las siguientes operaciones:

- Supervisar los aportes publicados en la Memoria Global (Tablero) e intervenir en la sesión cuando se ha salido de su curso normal. Inspecciona logros y dificultades que han tenido los alumnos.
- Se comunica con los aprendices por medio de los servicios de la comunicación sincrónica y/o asincrónica, con el propósito de aclararles dudas o brindarles sugerencias.
- Envía a los aprendices una evaluación a través del correo electrónico cuando éstos lo soliciten. Luego de que el aprendiz le envía las respuestas que considere son correctas, califica la evaluación, le da su respectiva valoración y se la envía de nuevo al aprendiz con sus respectivas recomendaciones.

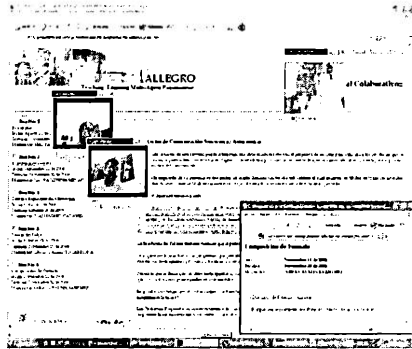


Figura 13: Ambiente Colaborativo de Aprendizaje

3.5 Mecanismo de IP usando CBR

El funcionamiento del modelo de IP usando CBR inicia cuando un aprendiz no logró satisfactoriamente ganar la evaluación de la Unidad Básica de Aprendizaje (Basic Unit of Learning, BUL) que estaba estudiando.

El modelo de IP usando CBR es invisible externamente para el usuario, es decir, no lo puede apreciar tangiblemente; sin embargo, puede beneficiarse de sus bondades (Ver figura 14). La planificación es llevada a cabo por los agentes Tutor y Modelo del Aprendiz. Como se anunció en el marco teórico, los agentes de software no tienen forma física; son entidades computacionales que actúan teniendo en cuenta los intereses o beneficios de su dueño, en este caso, los dueños son los aprendices.

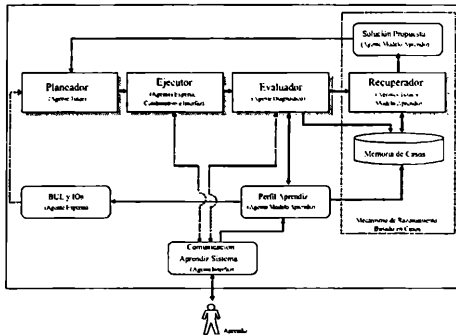


Figura 14: Arquitectura del Modelo de IP usando CBR en ALLEGRO

Cuando inicia el proceso, el agente Tutor envía la solicitud al agente Modelo del Aprendiz con los datos

del alumno, BUL y Objetivos Instruccionales (Instruccionales Objetivos, IOs). El agente Modelo del Aprendiz busca (Recupera) en la Memoria de Casos, aquel que contenga las mismas características. Luego de seleccionado el caso, el agente Modelo del Aprendiz lo envía al agente Tutor con el propósito de que lo adapte a manera de solución propuesta.

En la pantalla del usuario aparece una serie de recursos a utilizar. Después de que el aprendiz voluntariamente haga el recorrido por los recursos sugeridos y de haber presentado la evaluación, el caso se revisa para observar sus resultados, es decir, para determinar la viabilidad de si se continúa guardando el caso o no.

Este proceso lo realiza internamente los agentes Tutor y Modelo del Aprendiz.

El almacenamiento en la Memoria de Casos es realizado por el agente Modelo del Aprendiz y después de realizada la evaluación del respectivo caso.

ALLEGRO fundamenta su paradigma instruccional en tres modelos pedagógicos: Conductismo, Cognitivismo e Histórico-Social (Cognición distribuida y Aprendizaje Basado en Problemas).

4 CONCLUSIONES

En la actualidad se están produciendo grandes cambios en la forma en que las personas viven y aprenden, debido especialmente a los impresionantes avances en el campo de la informática y de las telecomunicaciones, lo que representa un nuevo desafío para los investigadores en el área de la inteligencia artificial en la educación.

El modelo de IP usando CBR cumple con las especificaciones de la planificación desde la perspectiva de la AI, es decir, tiene un estado inicial, un conjunto de objetivos y un conjunto de acciones posibles.

Las acciones que ofrece el modelo, son recursos instruccionales que otros aprendices han utilizado para lograr los IOs propuestos en una BUL. La solución del problema consiste en una serie de acciones que transforman el estado inicial en un estado final que cumple los objetivos.

En varios trabajos los MAS se han empleado en ambientes de enseñanza/aprendizaje donde los elementos pueden ser descompuestos en colecciones de agentes pedagógicos independientes intercambiando información y cooperando mutuamente para la consecución de los objetivos de enseñanza.

Este trabajo aprovechó las bondades que ofrecen los Sistemas Multi-Agente, tales como la autonomía, flexibilidad y adaptabilidad para aplicarlas a un ambiente de enseñanza/aprendizaje computacional.

Para lograr lo anterior, se desarrolló el Ambiente Multi-Agente de Enseñanza/Aprendizaje ALLEGRO a través de un MAS innovador el cual integra las bondades de un ITS y un CSCL, reafirmando la importancia de uti-

lizar IA en la educación para la construcción de nuevas tecnologías educativas.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo descrito en este artículo es auspiciado por beca de COLCIENCIAS en el marco del Programa de Apoyo a la Comunidad Científica Nacional a través de los Programas de Doctorado 2003.

REFERENCIAS

- Ferber, J. (1999). *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*, Addison Wesley Longman, England.
- Giraffa, L. y Viccari, R. (1998), The use of agents techniques on intelligent tutoring systems, in 'International Conference of The Chilean Society of Computer Science, Proceedings IEEE Computer Society'.
- Gomes, E., Boff, E. y Viccari, R. (2001), Social, affective, and pedagogical agents for the recommendation of tutorial colleagues in agent based learning environments, in 'Proceeding of Workshop Social and Emotional Intelligence in Learning Environments of 7th International Conference on ITS2001'.
- Iglesias, C. (1998), Definición de una metodología para el desarrollo de Sistemas Multi-Agente, PhD thesis, Universidad Politécnica de Madrid.
- Jiménez, J. (2005). Un Modelo de Planificación Instruccionales usando Razonamiento Basado en Casos en Sistemas Multi-Agente para entornos integrados de Sistemas Tutoriales Inteligentes y Ambientes Colaborativos de Aprendizaje, PhD thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Jiménez, J., Ovalle, D. y Viccari, R. (2005), Sistema multi-agente para entornos integrados de its & cscl, in 'Proceedings of 4a Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática -CISCI 2005', International Institute of Informatics and Systemics, USA.
- Lemaître, C. (1998), 'Multi-agent network for cooperative work', *Expert System with Applications: An international Journal Elsevier Science*.
- Oliveira, F. y Viccari, R. (1996), Are learning systems distributed or social systems, in 'European Conference on AI in Education'.
- Russell, S. y Norving, P. (2003), *Intelligent Agents*, Prentice Hall Series in Artificial Intelligence, chapter Artificial Intelligence: A Modern Approach.
- Viccari, R., Ovalle, D., Collazos, C., Azambuja, R. y Jiménez, J. (2005), ALLEGRO: Sistema multi-agente pedagógico, in 'Proceedings of TECNOCOM2005'.

- Viccari, R., Ovalle, D. y Jiménez, J. (2005), ALLEGRO: Ambiente multi-agente de apoyo a la enseñanza/aprendizaje utilizando planificación instruccional y razonamiento basado en casos (CBR), in 'Proceedings of XIII Congreso Iberoamericano de Educación Superior en Computación. 31th Latin-American Conference on Informatics -CLEI'.
- Wenger, E. (1987), Artificial intelligence and tutoring systems, Technical report, Los Altos, CA: Morgan Kaufmann.
- Wooldridge, M. (2002), *An Introduction to Multi-Agent Systems*, John Wiley & Sons, Ltd.