

TECNOLOGÍAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y DE AGENTES COMPUTACIONALES EN LA EDUCACIÓN: EL PROYECTO EVA

Leonid Sheremetov, Gustavo Núñez, Adolfo Guzmán

Centro de Investigación en Computación, IPN

Resumen

En los últimos años la inteligencia artificial (IA) se ha utilizado en búsqueda de nuevos métodos de enseñanza/aprendizaje. Estos enfoques no pretenden sustituir al instructor humano, sino ayudar a aprender al alumno. Se está desarrollando dos modelos, uno de ellos basado en el método de construcción del conocimiento en Ambientes Interactivos de Aprendizaje. El otro modelo de enseñanza contempla: la difusión del conocimiento, la comunicación, coordinación y colaboración entre grupos de alumnos, y se ha denominado aprendizaje cooperativo soportado por computadora. En ambos modelos se utilizan las entidades inteligentes (agentes) que interactúan por medio de la cooperación, la coexistencia o la competencia en un ambiente distribuido.

Este artículo analiza el impacto de las tecnologías de IA en el desarrollo de nuevos modelos de enseñanza/aprendizaje. En el contexto de desarrollo de estos métodos se introduce el concepto de agente inteligente, sus modelos, propiedades y arquitecturas. A continuación se consideran los problemas, resultados de desarrollo y aplicación de tecnología de agentes para la educación, que está en la primera fase del proyecto Espacios Virtuales de Aprendizaje (EVA) que se desarrolla en el CIC-IPN. En este trabajo se está desarrollando el modelo y prototipo de un ambiente multi-agente "Aula virtual". El ambiente incluye diferentes subsistemas multi-agentes: agentes asistentes personales, agentes participantes virtuales, sistema de planificación automática multi-agente, espacio de experimentación multi-agente, *etc.*

1. Introducción

En los últimos años, las innovaciones tecnológicas por un lado, y la creciente popularidad y disponibilidad de Internet por el otro, fueron las razones principales de desarrollo de numerosas aplicaciones y proyectos de investigación del uso de los medios informáticos en el campo de la tecnología educativa. Sin embargo, la introducción de las tecnologías en la educación es un problema difícil. Por ejemplo, los métodos ya bastante comunes y relativamente modernos de enseñanza, tales como videoconferencia o aprendizaje por sí mismo, no han tenido mucho éxito debido a sus limitaciones y a las facetas negativas que contienen, por mencionar algunas:

- Integración débil de los medios
- Interactividad débil entre alumno, profesor y sistema

- Paradigma dominante de ‘transmisión de información’
- Separación del aprendiz de las actividades cooperativas en los escenarios de aprendizaje.

Cabe aclarar que la idea generalizada, de que la tecnología educativa es sinónimo de utilización de equipos sofisticados, es inadecuada. Más bien se refiere a la renovación del proceso educativo y a la aplicación de un sentido tecnológico al proceso didáctico que incluye: diseño de estrategias, utilización de medios y control del sistema transmisor entre profesor y alumnos. Sarramona, citado por Castillejo (1997), justifica la introducción de la tecnología en la educación, principalmente:

“por la incorporación de los beneficios que supone convertir el proceso educativo en una tarea racional, sistemática y eficaz, y segundo por la necesidad de preparar mediante la correspondiente utilización y estudio crítico, a los educandos para una vida donde la tecnología existe de manera inequívoca”.

La enseñanza virtual (en el ambiente computacional) se adopta como una solución al problema de crecimiento exponencial del conocimiento en la sociedad contemporánea, por lo tanto se realiza la búsqueda intensa de nuevas soluciones pedagógicas y tecnologías de enseñanza/aprendizaje, donde las tecnologías de información avanzadas juegan un papel principal.

Las tecnologías de información ofrecen excitantes oportunidades para replantear a fondo el proceso de adquisición del conocimiento y permiten lograr, entre otros, los siguientes beneficios: integración de medios (texto, audio, animación y vídeo), interactividad, acceso a grandes cantidades de información, planes y ritmos de trabajo individualizados y respuesta inmediata al progreso del aprendiz. Para lograr estos beneficios se propone el uso de las tecnologías de inteligencia artificial y agentes computacionales.

En la siguiente sección, consideraremos el impacto de la inteligencia artificial y sistemas tutores inteligentes en el desarrollo de nuevos modelos de enseñanza, además de las tendencias en este campo. Las secciones 3 y 4 presentan el análisis del modelo de aprendizaje cooperativo y el uso de agentes de software en este modelo. Finalmente, se consideran la arquitectura y los primeros resultados del proyecto "ESPACIOS VIRTUALES DE APRENDIZAJE (EVA)", que tiene como meta el desarrollo de un aula virtual multi-agentes de enseñanza/aprendizaje cooperativo.

2. Sistemas tutores inteligentes

Por razones históricas mucha de la investigación en el campo del *software* educativo que involucra inteligencia artificial han sido llamadas *Intelligent Computer-Aided Instruction* (ICAI), como evolución del término *Computer-Aided Instruction* (CAI), utilizado para referirse al uso de computadoras en la educación. A mitad de los 80's el

término ICAI fue reemplazado por el de Sistemas Tutores Inteligentes (*Intelligent Tutoring Systems*, ITS de aquí en adelante). Estos sistemas están orientados a reproducir el comportamiento de un tutor humano, adaptando su enseñanza al ritmo y forma de aprendizaje más conveniente para el usuario por medio de un sistema experto y modelos de conocimiento sobre el dominio, métodos de enseñanza y los perfiles de los estudiantes. Consideremos a continuación los conceptos principales de estos sistemas, así como sus ventajas y desventajas educativas.

Los investigadores de ITS han tratado de mostrar que estos pueden mejorar significativamente la velocidad y la habilidad del aprendizaje. Los conceptos tradicionales que se manejan en los ITS son el módulo de conocimiento (dominio experto), el modelo del estudiante, el módulo pedagógico (estrategias de comunicación) y la interfaz con el usuario (fig. 1).

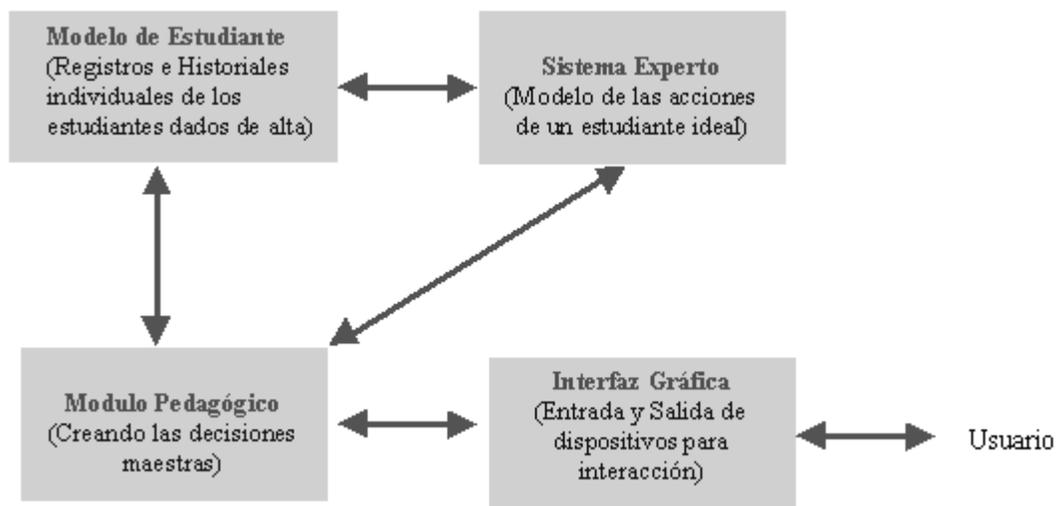


Figura 1. Arquitectura de ITS

Uno de los primeros ejemplos de los ITS era el sistema GUIDON, un tutor construido sobre el sistema experto MYCIN, que diagnostica enfermedades infecciosas, con los siguientes objetivos [Clancey, 87]:

- Evaluar la utilidad pedagógica de la base de conocimientos de MYCIN,
- Contener el conocimiento adicional que requiere un sistema tutor,
- Expresar las estrategias tutoriales en términos independientes del dominio.

GUIDON tenía como núcleo a MYCIN (el cual no sufría ninguna modificación), además es un sistema basado en reglas con una estructura muy similar a MYCIN. Puede verse como un sistema experto con cerca de 200 reglas.

La estrategia pedagógica de presentación de GUIDON es el método de caso, un diálogo que se concentra en casos específicos de éxito, siguiendo el método socrático de tareas y ejemplos.

Una vez que GUIDON selecciona y describe un caso, el estudiante diagnostica, haciendo preguntas que le permitan conocer datos importantes y proponer una hipótesis (fig. 2). El comportamiento del estudiante se compara con el del experto y el programa interviene cuando el estudiante pide ayuda o cuando las acciones no son óptimas. GUIDON guarda un registro del contexto de todas las interacciones del estudiante y las sentencias de salida se construyen con base en frases primitivas almacenadas.

Después de la presentación de datos de un caso relevante...

Estudiante: Pienso que los organismos presentes son Diplococcus-pneumonias, Pseudomonas-aeruginosa, y Neisseria-meningitidis

GUIDON: Bien. La edad del paciente da evidencias para concluir que el Diplococcus-pneumonias podría estar presente. El hecho de que el paciente ha sido seriamente quemado es buena razón para sospechar la presencia de Pseudomonas-aeruginosa. Ambas conclusiones se aplican porque la infección que requiere terapia es la meningitis, no se vieron organismos sobre una mancha de un gramo de cultivo, y el tipo de infección es bacteriana.

Estudiante: No.
Esta sería una buena razón para excluir Neisseria-meningitidis. Cuáles hechos acerca de este caso te dirían que los organismos que podrían estar presentes son E. Coli y Klebsiella-pneumoniae?

Estudiante: Ayúdame

GUIDON: Elige de:

1. El paciente no tiene un factor de riesgo TB y la radiografía no es anormal
2. La otitis media y la epiglotitis no están entre los diagnósticos consistentes con las historias clínicas de los pacientes

...

Figura 2. Extracto de un diálogo con GUIDON

Para adaptar el diálogo a las necesidades específicas dadas por la sesión, el sistema mantiene y se refiere a una base de datos separada de las interacciones relevantes. Esta base de datos, llamada modelo de comunicación consiste de tres partes:

- *El modelo del estudiante:* GUIDON usa dos valores locales por regla para indicar la creencia de que se pueda aplicar la regla en una circunstancia dada y la creencia de que ha aplicado anteriormente este conocimiento.
- *El case syllabus* contiene información del experto acerca de la importancia de los tópicos, sirve para determinar los tópicos que serán cubiertos.
- *El focus record* guarda el contexto global del diálogo en un conjunto de registros para asegurar la continuidad.

La experiencia obtenida con GUIDON ha tenido impacto en el desarrollo de los ITS en el área de matemáticas, donde los ITS han tenido un cierto éxito, como por ejemplo los

Tutores de Geometría y de Lisp de Anderson o ITS de álgebra (de ecuaciones simbólicas) de McArthur [Anderson, 85; McArthur & Lewis, 91]. Estos sistemas han permitido no solamente desarrollar las habilidades de manipular y resolver las ecuaciones matemáticas o modelar las situaciones reales con estas ecuaciones, sino también desarrollar las habilidades de más alto nivel como la planificación o establecimiento de metas.

Pero a partir de varios dominios particulares, en general esta metodología se ha resuelto insuficiente, debido a las limitaciones asociadas con la tecnología de sistemas expertos en la parte de representación del conocimiento completo sobre el dominio (la imposibilidad de omnisciencia virtual), y en la representación y utilización de métodos de enseñanza (la experiencia pedagógica y heurísticas de enseñanza).

El análisis de los problemas de los ITS ha estimulado la investigación intensa en la ciencia cognitiva, así como los cambios radicales en el modelo de representación de conocimientos para la enseñanza, reconocidos por Clansey [Clansey, 87, pp.168]:

Construyendo GUIDON hemos pensado, siendo simplemente ingenieros en aplicaciones con el propósito de utilizar las facilidades explicativas de MYCIN para la enseñanza. Fue sorprendente reconocer que tan poca utilidad pudo tener el MYCIN original para los alumnos. El estudio de las desventajas de GUIDON nos ha llevado a los cambios radicales en la conceptualización de las reglas de MYCIN e implica el desarrollo de un nuevo marco epistemológico de construcción de sistemas expertos.

En los últimos años, la IA se ha utilizado en búsqueda de nuevos métodos de enseñanza/aprendizaje. Estos enfoques no pretenden sustituir al tutor humano, sino ayudar a aprender al alumno y están participando en un intento para cambiar los métodos de aprendizaje y enseñanza y así, redefinir las metas educacionales y los resultados del aprendizaje. Un nuevo método que ha surgido en la última década, es la enseñanza basada en solicitudes (*inquiry-based*), aunque también se conoce como el método centrado en alumno o modelo constructivista [Davis, 91]. Este método de construcción del conocimiento se está desarrollando en Ambientes Interactivos de Aprendizaje (*Interactive Learning Environments - ILE*). En la enseñanza de las matemáticas un tipo particular de sistemas de ésta clase se llama micromundos matemáticos" [McArthur & Lewis, 91].

Los micromundos son ambientes interactivos de software donde los alumnos:

- pueden crear diferentes tipos de objetos matemáticos,
- pueden encontrar y aprender las relaciones entre las propiedades de estos objetos,
- pueden aprender el conocimiento específico del dominio,
- pueden desarrollar las habilidades para hacer descubrimientos, tales como proponer problemas, generar hipótesis, recoger observaciones, demostrar y explicar hipótesis, etc.

Los micromundos como los ITS en general se han enfocado básicamente en el aprendizaje individual y la cognición individual. Sin embargo, hoy en día, otra tendencia importante en los métodos de enseñanza moderna, es el uso intenso de la colaboración en la tecnología educativa, habilitado por los avances tecnológicos en informática. El desarrollo de la computación distribuida, las redes de computadoras, las telecomunicaciones y, sobre todo, la utilización masiva de Internet y del World Wide Web (WWW), han propiciado el desarrollo de una nueva clase de sistemas que contemplan la difusión del conocimiento, la comunicación, coordinación y colaboración entre grupos de personas, situadas en lugares geográficos diferentes [Capell, 95; Sheremetov, 97].

Esta línea de investigación se ha denominado aprendizaje cooperativo (*Collaborative Learning*) o también aprendizaje cooperativo soportado por computadora (*Computer Supported Collaborative Learning*, CSCL de aquí en adelante).

3. Aprendizaje cooperativo soportado por computadora

El aprendizaje cooperativo estudia métodos educativos que buscan mejorar el aprendizaje cuando varios estudiantes trabajan sobre una misma tarea.

En general, el aprendizaje cooperativo es efectivo en dominios donde los participantes desean adquirir habilidades como planeación, categorización y memorización. El procedimiento consiste en que los participantes aprendan los prerrequisitos del tópico a ser enseñado y que se refuerce el aprendizaje utilizando un ambiente cooperativo. Existen varios estudios que sugieren que el ambiente cooperativo ayuda a los estudiantes a entender tareas complejas, donde el dominio del conocimiento es complejo, jerárquico y se requiere un conocimiento profundo en cada nivel de la jerarquía.

Dillenbourg [Dillenbourg et al., 96] identifica tres teorías distintas de aprendizaje que pueden utilizarse en sistemas de aprendizaje cooperativo:

- Socio-constructivista
- Sociocultural
- De cognición compartida

La teoría socio-constructivista postula que los estudiantes aprenden nuevos enfoques de aprendizaje mediante su interacción con otros. En esta teoría se da más énfasis a las interacciones que a las acciones. La teoría sociocultural se centra en las relaciones causales entre las interacciones sociales y el desarrollo cognitivo de los estudiantes. La teoría de cognición compartida se diferencia de las otras dos en el sentido de que es importante el ambiente en el cual el aprendizaje toma lugar. El ambiente está constituido por el contexto físico y el contexto social. Las otras dos teorías atribuyen el aprendizaje sólo al contexto físico. Dentro de este enfoque, la colaboración se ve como un proceso de construcción y administración de concepción compartida de los problemas.

El diseño del ambiente que se propone desarrollar en el proyecto EVA se centra en esta última teoría, pero tomando en cuenta algunos elementos de la primera.

En general, el CSCL estudia las formas de administrar un ambiente de aprendizaje colaborativo a través de las tecnologías de información, haciendo que el sistema tome parte activa en el análisis y el control. En [Ayala & Yano 96], Ayala define CSCL como:

"el uso de la computadora como un dispositivo de ayuda a los aprendices, para comunicarse y colaborar en actividades conjuntas mediante una red, asistiéndole en la coordinación y aplicación del conocimiento en cierto dominio".

Este campo de investigación se origina a partir de la aplicación de técnicas de trabajo cooperativo (*Computer-Supported Cooperative Work*) al diseño de ambientes cooperativos de aprendizaje. Los ambientes cooperativos virtuales de enseñanza permiten aplicar la inteligencia artificial, las tecnologías de *groupware*, *workflow* y agentes, las redes de computadoras y las telecomunicaciones, para generar ambientes de enseñanza y de trabajo cooperativo.

En general, los CSCL tratan con problemas de retroalimentación, concepto importante dentro de la educación. Otro aspecto es el reunir requerimientos en forma cooperativa para la solución de problemas. Estos sistemas han probado ser efectivos cuando es necesario trabajar en grupo para llevar a cabo actividades.

4. Agentes en ambientes de aprendizaje cooperativo

Actualmente, existen diversas tendencias para desarrollar CSCL. Un factor casi común en todas ellas es la utilización de la Inteligencia Artificial Distribuida (IAD). Esta es un subcampo de la IA que intenta construir un modelo del mundo poblado por entidades inteligentes (agentes) que interactúan por medio de la cooperación, la coexistencia o por la competición en un ambiente distribuido. Los Sistemas Multi-Agentes (SMA), donde los agentes cooperan para llevar a cabo objetivos comunes, es una tecnología que promete la solución al problema de cooperación en general y en la educación. El concepto de agentes puede considerarse como uno de los más importantes en los 90's, tanto en la IA como en las Ciencias de Informática y Computación.

Desde el punto de vista del procesamiento distribuido se define el agente como *un proceso de software autosuficiente ejecutando en forma concurrente, que encapsula algún estado y tiene la capacidad para comunicarse con otros agentes por medio de la transmisión de mensajes*. Quizá la manera más general en que se utiliza el término agente es para denotar un sistema de computación basado en software que goza de las siguientes propiedades [Singh, 96]:

- *Autonomía*: los agentes operan sin la intervención directa de los seres humanos u otros, y tienen alguna clase de control sobre sus acciones y el estado interno;

- *Capacidad Social:* los agentes interactúan con otros agentes (posiblemente seres humanos) a través de un tipo de lenguaje de comunicación entre agentes;
- *Reactividad:* los agentes perciben su ambiente (el cual puede ser el mundo físico, un usuario a través de un interfaz gráfico, una colección de otros agentes, la INTERNET, o quizás todas estas combinadas) y responden de una manera oportuna frente a los cambios que ocurren en él;
- *Pro-actividad:* los agentes no simplemente actúan como respuesta a su ambiente, son capaces de exhibir un comportamiento dirigido a metas por medio de la toma de iniciativa.

Otra preocupación se asocia con el punto de vista del dominio de IA, donde el término "agente" tiene un significado más fuerte y más específico que el mencionado anteriormente. De acuerdo a esto un agente es un sistema computacional que, además de tener las propiedades identificadas arriba, se conceptualiza o implementa por medio del empleo de conceptos que se aplican con más frecuencia a los seres humanos. Por ejemplo, la IA caracteriza a un agente utilizando conceptos mentales, tales como el *conocimiento, la creencia, la intención y obligación*.

El uso de agentes es importante, pues al tratarse de entornos de educación cooperativa es necesario que cuando un usuario entre al sistema tenga la posibilidad de resolver problemas cooperativamente con otros usuarios (alumnos o profesores). En el caso que no haya usuarios humanos en ese momento, entonces debe comunicarse con agentes artificiales.

En el campo de los CSCL, se proponen distintas arquitecturas de los SMA para la creación de ambientes virtuales de aprendizaje, incluyendo agentes autónomos reactivos (similares a aprendices humanos) y agentes cognitivos (quienes instruyen a los aprendices).

Una tendencia en tecnologías de educación cooperativa, es la de incluir un agente artificial (compañero) en el modelo del estudiante, el cual, por un lado, colabore o compita con el alumno y, por otro, que aconseje y aprenda del alumno humano. Es el último aspecto, por el estímulo que obtiene el alumno, el que se ha investigado más. A este tipo de tecnología se le conoce como *Learning Companion System*. Entre los experimentos que se han llevado a cabo con este tipo de tecnología, se ha observado que el alumno prefiere a compañeros con mayor conocimiento y experiencia. Por otro lado, el competir con el agente artificial le da al alumno la posibilidad de apreciar otros enfoques de resolver un mismo problema. Otra forma en que el alumno puede aprender es enseñando al agente artificial, pues necesita revisar, clarificar, organizar, y reflexionar sobre su conocimiento para poder enseñar.

Hay tendencias en tecnologías de educación cooperativa que permiten al alumno estructurar su educación a sus propias necesidades, apoyado en agentes que le ayuden en la elección de su plan de estudios de acuerdo a sus habilidades, intereses y conocimientos previos, así como proporcionar toda clase de material didáctico o guiar hacia éstos, servir como consejero, asegurar que el alumno está aprendiendo

conceptos fundamentales, *etc.* A este tipo de aprendizaje se le conoce como aprendizaje co-evolutivo entre alumnos humanos y tutores computacionales.

La idea es que el alumno aprenda de los tutores (agentes) y que éstos aprendan a hacer mejor su trabajo con base en sus interacciones con los alumnos. Para diseñar e implantar este tipo de agentes se han utilizado técnicas de aprendizaje automático, en donde, por ejemplo, las estrategias de competencia entre dos jugadores (agentes) derivan en interacciones que pueden modelarse como un meta-juego entre profesores y alumnos. Si el aprendizaje falla se debe a un equilibrio subóptimo. En este tipo de aprendizaje el alumno pasa de ser un receptor pasivo a interactuar con los tutores, como colegas, en el proceso de aprendizaje.

Otro sistema interesante es MATHEMA [Barros & Perkusich 96], en el cual se tiene una micro-sociedad de agentes tutores artificiales que interactúan con un estudiante. Aquí se tienen dos tipos de interacciones: una entre los agentes de la micro-sociedad y otra entre el estudiante y el agente tutor.

MATHEMA fue diseñado para soportar funcionalidades y técnicas de inteligencia artificial distribuida mediante un sistema multi-agente, centrándose en procesos de cooperación entre diferentes sistemas tutores, para resolver problemas complejos que no pueden ser resueltos por ningún tutor individualmente.

El sistema EduAgents de P. Hietala y T. Niemirepo [Hietala & Niemirepo 98] está orientado a crear una atmósfera que influya en las preferencias del alumno, esto es, el alumno lleva a cabo una serie de tareas utilizando el sistema y poco a poco va encontrando cuál es su estilo de aprendizaje. Esto se logra a través de un conjunto de agentes maestros y agentes aprendices que animan al alumno a utilizar distintas clases de aprendizaje.

M. Kayama y T. Okamoto [Kayama & Okamoto 98] han trabajado con un modelo para que el usuario explore actividades en el hiperespacio y un mecanismo basado en un enfoque sub-simbólico, para decidir estrategias de navegación. Este modelo no interfiere con el sistema de aprendizaje del alumno, sólo le ayuda a navegar por Internet para adquirir conocimiento. La idea es utilizar hipermedios como un medio ambiente de aprendizaje, de tal manera que el alumno explore por sí mismo en la red.

Se sabe que los usuarios tienen diversos problemas al hacer este tipo de exploraciones, como por ejemplo, información redundante, *etc.* Para evitar este tipo de problemas ellos proponen usar sistemas de hipermedia adaptativos que tienen la cualidad de inferir metas de aprendizaje del estado actual del alumno, basándose en exploraciones pasadas realizadas por él. El estado actual del estudiante se deduce de ciertas guías hacia metas de aprendizaje, de cuatro posibles casos no deseables en los que el alumno puede caer durante el proceso de aprendizaje, y de dos tipos de datos que distinguen a alumnos que están en estados no deseables de los que no lo están.

5. Aula virtual multi-agente EVA

El proyecto de investigación ESPACIOS VIRTUALES DE APRENDIZAJE (EVA), tiene como su meta el desarrollo de un ambiente multi-agentes de enseñanza/aprendizaje [Núñez et al., 98]. En EVA, agentes se utilizan:

- Como tutores virtuales, estudiantes virtuales o acompañantes de aprendizaje, asistentes virtuales personales que ayudan a los estudiantes a aprender.
- Para obtener información, administración, planeación y organización de las actividades de aprendizaje, filtrado y recuperación de información, asistencia al estudiante y seguimiento para la evaluación de sus intenciones y rendimiento.
- Para organizar los grupos de trabajo y actividades de grupo, y reconfigurar sus espacios de conocimiento y trabajo.
- Como componentes del espacio de experimentación de EVA, que permiten agregar el soporte de creación de Ambientes Virtuales Distribuidos en VRML/JAVA

A continuación consideremos algunas de estas aplicaciones.

5.1 Sistema multi-agente de aprendizaje

Un sistema multi-agente de aprendizaje y enseñanza comprende un conjunto de agentes, que son sistemas basados en conocimientos. En un sistema de educación inteligente los agentes forman una capa intermedia entre los usuarios y los espacios virtuales del entorno de educación personal de cada tutor y estudiante y (fig. 3).



Figura 3. Sistema multi-agente de aprendizaje EVA

El proyecto consta del desarrollo de un ambiente multi-agente de asesoría y asistencia personal inteligente para el alumno, y se constituye de agentes de los siguientes tipos:

Agente de búsqueda y filtrado de información en Internet (A_{SF}): que busque en la red materiales adicionales que le interesen al alumno de acuerdo a su plan académico y que sintetice, evalúe e interprete información recopilada de diversas fuentes sobre un mismo tópico y filtre sólo aquello que es de interés para el alumno de tal manera que no lo sature de información repetitiva o innecesaria. Utiliza las herramientas de búsqueda en lenguaje natural como Clasitex [Guzmán 98]. Además localiza libros y revistas en bibliotecas en el caso que se soliciten.

Agente de colaboración (A_C): que compare el desarrollo académico del alumno con otros alumnos para formar grupos de asesoría y colaboración, solicite ayuda o información a otros asesores y tome decisiones colaborativas a favor del alumno; que seleccione, integre y ordene la información a compartir entre el tutor y los alumnos o dentro del grupo de alumnos; que maneje los modelos de alumnos.

Agente asesor personal (A_{PA}): que sugiera un plan personalizado de estudios al alumno de acuerdo a su formación académica, intereses, habilidades y avances, que modifique el plan de estudios del alumno si es necesario; que seleccione, integre y ordene la información a estudiar; aconseje para la resolución de problemas de aprendizaje, que le diga donde encontrar material didáctico (apuntes, libros, referencias a revistas, casos de estudio parecidos a su tema) y exámenes de prueba, que ayude al alumno a seleccionar qué fuentes debe estudiar, que le sugiera temas de proyectos y de tesis, que le indique al alumno de laboratorios virtuales en donde puede hacer prácticas y lo oriente al respecto. Se comunica con el agente de búsqueda para encontrar la información relevante al tema de estudio, maneja el modelo del dominio.

Agente evaluador (A_E): comprueba periódicamente el aprendizaje y problemática del alumno, intenta encontrar las causas de comprensión incorrecta, se comunica con el agente asesor para reorganizar la información a estudiar, maneja el modelo de estudios.

El prototipo de la comunidad virtual de aprendizaje está formado por el *Agente monitor del grupo (A_{GM})* y *Agente compañero artificial (A_{LC})*. Como un primer paso se propone un sistema multi-agentes de tipo *Asesor y Asistente*, donde cada actividad de las mencionadas anteriormente puede ser delegada en un agente con tarea específica (fig. 4). La mayoría de los agentes ha sido implementada con el paquete JATLite y habilidades de inferencia basada en reglas programadas en Jess [JATLite 98, Friedman-Hill 98].

5.2 Planificación automática multi-agente

Un aprendiz navega los espacios virtuales por rutas (planes de estudio) sugeridos en una manera automática por EVA. Así que el propósito del sistema de planeación es diseñar una trayectoria particular de aprendizaje para cada estudiante en el espacio de

conocimiento, formado por las Unidades del Material Didáctico (UMD), el cual es organizado en dominios del conocimiento. En la siguiente fase, libros personalizados, llamados Polilibros, son armados mediante la concatenación de UMD seleccionadas a lo largo de la trayectoria de aprendizaje para el dominio del conocimiento. Finalmente las actividades de aprendizaje de los alumnos deben ser programadas para satisfacer limitaciones temporales. Esta tarea es iterativamente repetida basada en los resultados de la evaluación.

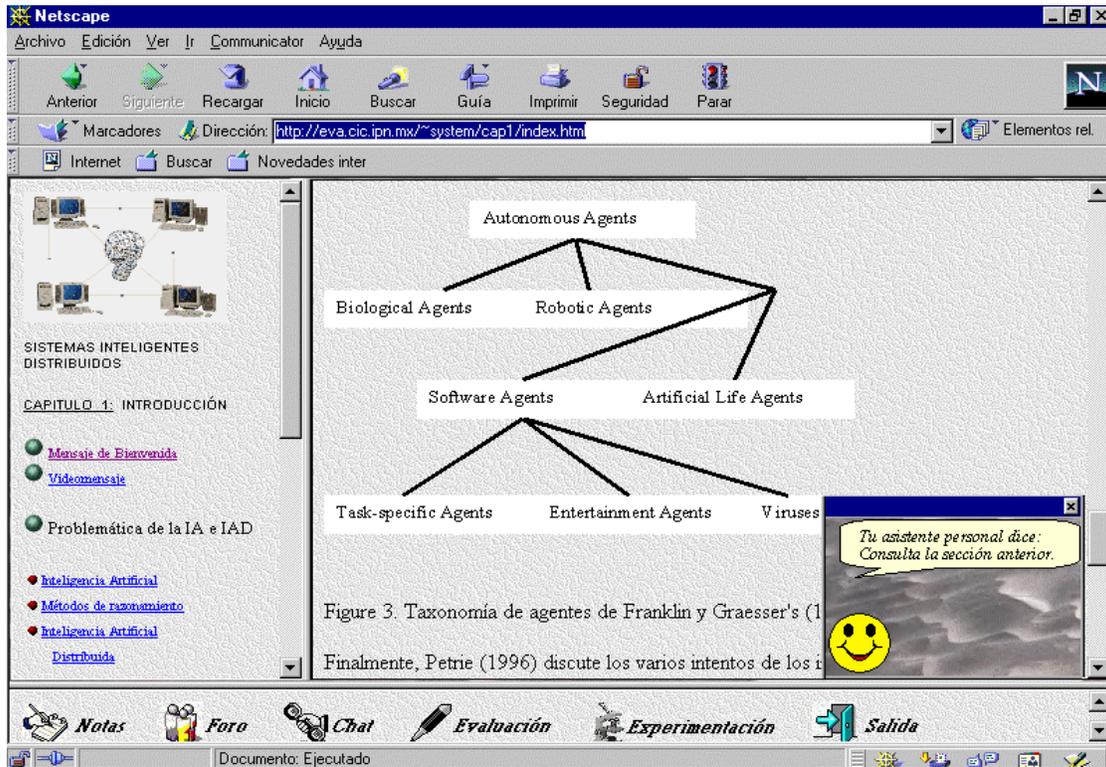


Figura 4. La interfaz de EVA en el espacio de conocimiento con el agente asesor

El problema de planificación ha sido caracterizado como un problema combinatorio. La tecnología de sistemas multi-agentes ha emergido como la más prometedora, para enfrentar problemas de este tipo que no se han podido resolver durante las últimas dos décadas, en una forma tradicional, incluyendo enfoques convencionales basados en conocimiento. Su factibilidad radica, entre otras, en la forma distribuida de solución de tareas y en la búsqueda de soluciones aproximadas en lugar de las óptimas.

El modelo de conocimiento sobre el dominio en EVA es el grafo de conceptos [Nuñez et al., 98]. Planificar en este caso significa encontrar el camino del alumno sobre el grafo, es decir su trayectoria de aprendizaje. Para resolver el problema el grafo se divide en dominios, un agente se asigna a cada dominio (fig. 5). Este agente posee toda la información acerca de proceso de planificación, los algoritmos y las restricciones (por ejemplo, el numero de alumnos que pueden tomar la misma materia simultáneamente).

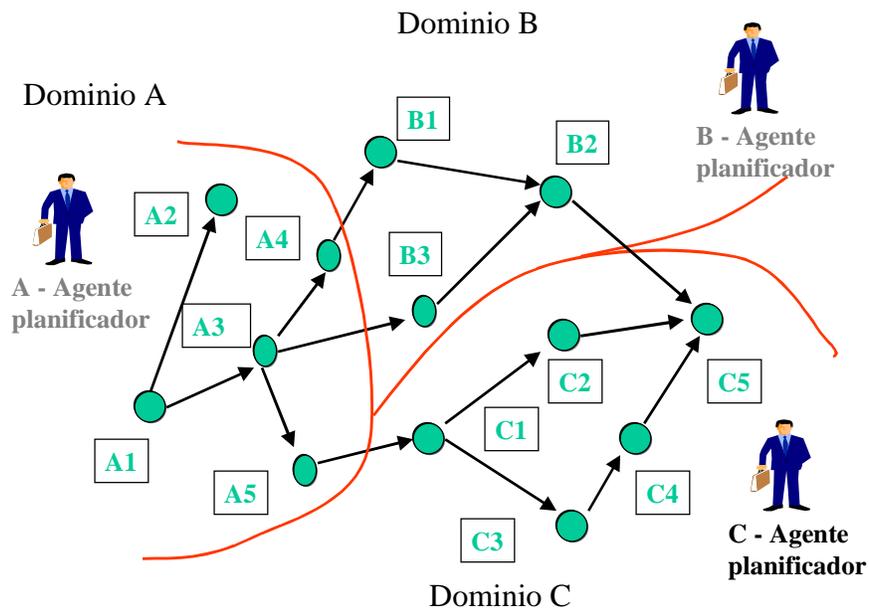


Figura 5. Planificación automática multi-agente

El plan de estudio global aparece como un árbol AND-OR progresando desde la meta del sistema (en la raíz), bajando a través de metas y planes, hacia los fragmentos del plan local distribuido entre los agentes. Por supuesto, desde este ambiente distribuido, el agente simple no tiene una vista completa de este árbol. Un agente coordinador especial facilita la comunicación y realiza la administración de actividades.

Un agente no puede simplemente satisfacer una meta local mediante la elección de algún fragmento del plan, pero debe coordinar su opción tal que esta sea compatible con las de los otros agentes. Relaciones de prerequisite son usadas por este agente para alcanzar la información acerca de las relaciones de sus fragmentos del plan con otros dominios. Desde que las metas locales y las decisiones están interconectadas, se propuso un algoritmo de negociación multifase, el cual provee los medios por los cuales un agente puede adquirir suficiente conocimiento para razonar acerca del impacto de sus decisiones locales y modificar su conducta de acuerdo para construir una decisión globalmente consistente [Sheremetov & Núñez, 99]. La interfaz del sistema de planificación constituida por 4 agentes planificadores y un agente coordinador se presenta en la fig. 6. El Sistema de Planeación de Actividades del Aprendizaje con Negociación Multifase está implementada usando el paquete JATLite (JATLite, 1998).

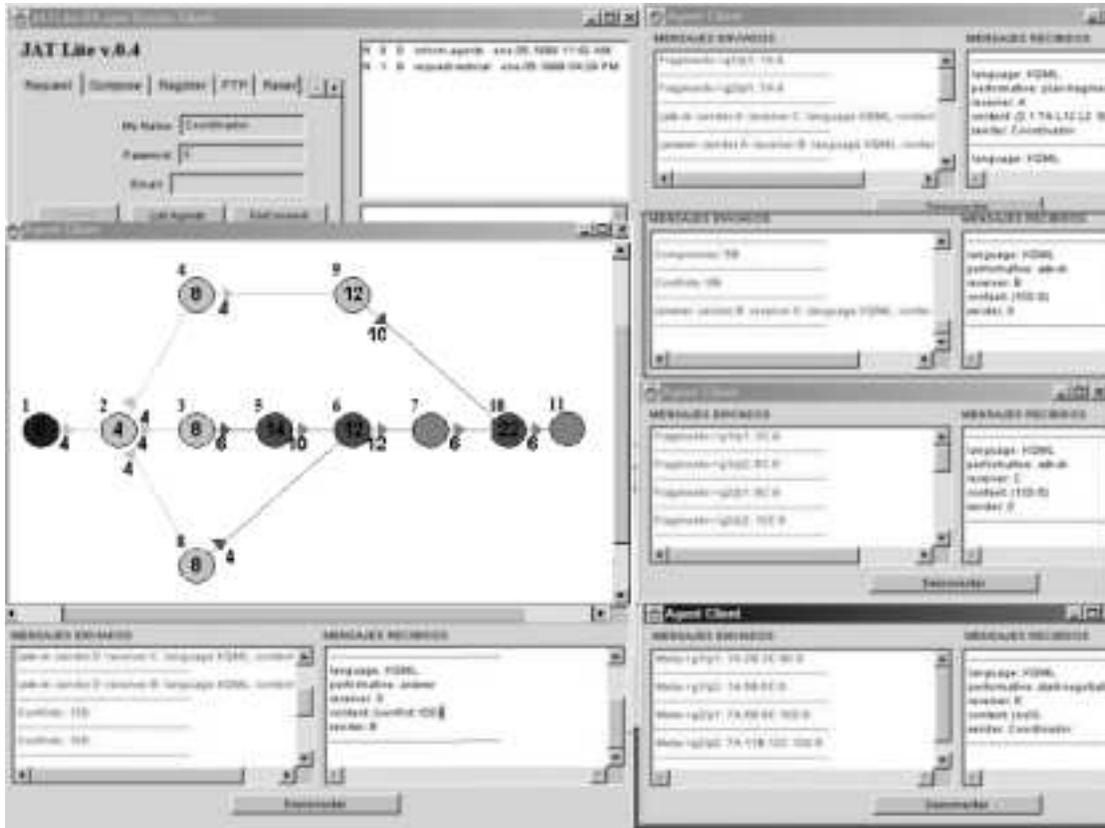


Figura 6. La interfaz del sistema multiagente de planificación.

5.3 Ambiente de experimentación multi-agente EVA

En el espacio de experimentación multiagente los estudiantes podrán ejecutar los agentes de diversas aplicaciones, desarrolladas para la asignatura "Sistemas Inteligentes Distribuidos". Además el espacio les proporciona las facilidades para interactuar con los agentes y realizar diversas tareas de aprendizaje. Finalmente, este espacio está desarrollado para proporcionarles la posibilidad de desarrollar sus propios agentes (por el momento, en el modo off-line), integrarlos en los ambientes de experimentación para que ellos interactúen con los agentes básicos. Entre las aplicaciones cabe mencionar las siguientes: un sistema bancario multi-agente, una agencia de viaje, sistema de control de un robot (con la visualización del comportamiento en la realidad virtual en los escenarios VRML).

Para el desarrollo de agentes se utilizan las herramientas: Visual Studio, JAVA, LALO, JATLite para plataformas Windows y UNIX.

5.4 Plataforma de software multi-agente EVA

Un sistema como EVA requiere una plataforma que debe proporcionar toda la variedad de servicios necesarios para correr las aplicaciones. Arquitectura del SMA EVA contiene cuatro niveles funcionales: servicios de presentación, servicios de aplicación,

servicios de administración, servicios de datos (fig. 7). Los servicios de presentación están diseñados para ocultar las diferencias entre los visores de diferentes tipos de datos. Desde el punto de vista de los otros agentes, esto significa, que hay un protocolo de servicio visor del núcleo que es compartido entre todos los visores. Un visor de un nuevo tipo de datos sólo necesita implementar un agente que convierta a un mínimo protocolo de servicio de este visor al formato específico de llamadas que la aplicación espere.

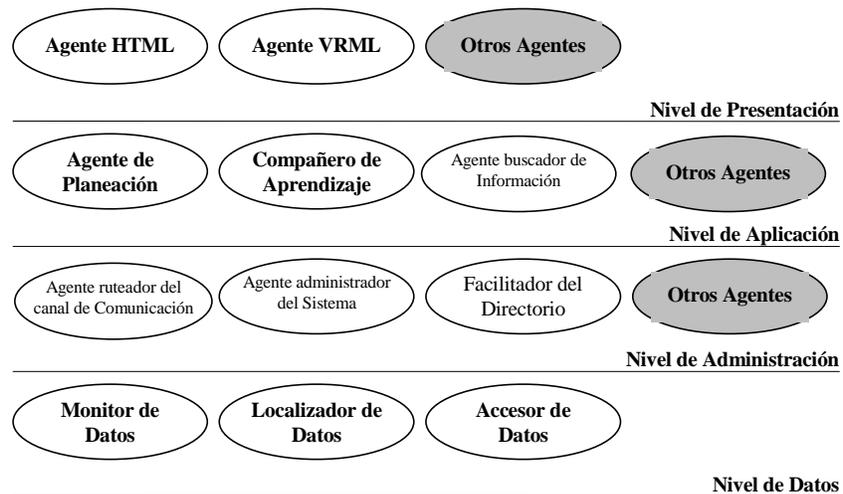


Figure 7. Arquitectura de SMA de niveles múltiples

El nivel de servicios de aplicación actualmente contiene algunos agentes que soportan servicios de aplicación, discutidos en las secciones previas del artículo. El agente de nivel de servicios de administración está implementado de acuerdo a la propuesta FIPA sobre la base del modelo Microsoft DCOM e incluye los siguientes componentes [FIPA, 98]:

- El Agente Ruteador del Canal de Comunicaciones, el cual enruta los mensajes entre los agentes de la misma plataforma o de agentes de plataformas distintas.
- El Agente Administrador del Sistema, el cual coordina la creación, borrado, suspensión, reanudación, y autenticación de agentes en la plataforma.
- El Facilitador de Directorio, el cual mantiene un directorio de servicios que ofrece cada agente.

Estos servicios son necesarios para proporcionar comunicaciones activas entre los agentes. Además, los agentes en EVA tienen que saber acerca de las capacidades de los otros agentes. Por ejemplo, cuando el monitor de grupo detecta acciones erróneas repetitivas de los estudiantes, éste se comunica con el compañero de aprendizaje para cambiar su patrón de conducta para llegar a ser más útil.

Finalmente, los servicios de datos incluyen *localizadores de datos* los cuales encapsulan funciones de búsqueda e indexamiento, *accesores de datos* los cuales recuperan datos de las fuentes de datos heterogéneas, y *monitores de datos* los cuales alimentan información a los clientes.

En adición a los protocolos de conexión estándar hemos desarrollado una arquitectura de comunicación multinivel, haciendo uso de KQML y el modelo DCOM de Microsoft. Esto habilita a los desarrolladores de software a exponer selectivamente sus interfaces, proporcionando una forma estándar para los componentes del sistema para proporcionar servicios de acceso requeridos y utilizar los datos de los demás. Esto no sólo asegura interoperabilidad entre las herramientas de los usuarios finales y componentes resusables, pero además nos permite tomar ventaja de servicios de terceras partes que pueden ser usados y personalizados como se requieran.

Conclusiones

Los intereses de investigación en la IA están enfocados en el estudio y modelado de procesos de cognición humana, el tema clave también para el desarrollo de los modelos de enseñanza/aprendizaje. El desarrollo y aplicación de las tecnologías de la IA a la educación se ha concentrado en la investigación y desarrollo de toda la diversidad de métodos de enseñanza/aprendizaje, tales como, enseñanza uno-a-uno, aprendizaje constructivista, aprendizaje basado en casos, aprendizaje por reflexión, aprendizaje por demanda, y supuestamente, aprendizaje cooperativo. Este desarrollo debe permitir restablecer nuevas metas de aprendizaje de alumnos. Creemos, que la tecnología de agentes, que asuma un papel activo en la enseñanza, jugará el papel central en el esfuerzo para encontrar el camino de estos métodos a la clase, para replantear a fondo la practica del proceso de enseñanza.

Agradecimientos

Los proyectos de investigación: Espacios Virtuales de Aprendizaje (EVA), y El Desarrollo de Agentes Autónomos en Ambientes Virtuales Multi-agente de Aprendizaje, son apoyados por la Red de Investigación en Informática (REDII) de CONACyT y CGEPI del IPN. Los experimentos no habrían nunca tenido éxito sin la contribución del equipo de profesores-investigadores y alumnos del Laboratorio de Agentes del CIC-IPN.

Referencias

[Anderson et al., 85] Anderson, J., Boyle, D .F., and Yost, G. (1985). The geometry tutor. *Proceedings of the Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence*.

[Ayala & Yano, 96] Ayala, G. & Yano, Y. Communication Languages and Protocols in an agent- based collaborative learning environment. In *Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Vol.3, pp. 2078-2087.

[Barros & Perkusich, 96] Barros Costa, E., Perkusich, A. Modeling the Cooperative Interaction in a Teaching/Learning Situation. *Intelligent Tutoring Systems 1996*: 168-176

[Capell, 95] Capell, P. Report on Distance Learning Technologies. CMU/SEI-95-TR-004 ESC-TR-95-004, September 1995.

[Castillejo, 97] Castillejo, *et al.* (1997). *Tecnología y Educación*, Alianza Editorial, Barcelona España.

[Clancey, 87] Clancey, W.J. (1987). *Knowledge-based tutoring: The GUIDON program*. Cambridge, MA: The MIT Press.

[Davis, 91] Davis, R. (1991). Constructivist views on the teaching and learning of mathematics, *Journal for Research in Mathematics Education, Monograph 4*, National Council of Teachers of Mathematics.

[Dillenbourg et al., 96] Dillenbourg, P. Baker, M. Blaye, A. & O'Malley, C. (1996) The Evolution of Research on Collaborative Learning. In S.Spada and S. Reimann (eds) *Learning in Humans and Machines*.

[FIPA, 98] FIPA7412, (1998). Draft 1.0, document of the Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA).

[Friedman-Hill, 98] Friedman-Hill, E. J. (1998), Jess, The Java Expert System Shell, Version 4.3, Technical report SAND98-8206 Sandia National Laboratories, Livermore, CA, <http://herzberg.ca.sandia.gov/jess>.

[Guzman, 98] Guzmán A. (1998). Finding the main themes in a Spanish document. *Journal Expert Systems with Applications*, Vol. 14, No. 1/2, Jan/Feb. 139-148.

JATLite Beta Complete Documentation (1998), Stanford University, <http://java.stanford.edu>

[Hietala & Niemirepo, 98] Hietala, P. and Niemirepo, T. Multiple artificial Teachers: how do learners cope with multi-agent learning environmen? *In Proc. of the Workshop on Current Trends and Artificial Intelligence in Education, 4 World Congress on Expert Systems*, Mexico, 1998.

[Kayama & Okamoto, 98] Kayama, M. and Okamoto, T. A Mechanism for Knowledge-Navigation in Hyperspace with Neural Networks to Support Exploring activities. *In Proc. of the Workshop on Current Trends and Artificial Intelligence in Education, 4 World Congress on Expert Systems*, Mexico, 1998.

[Koulinitch & Sheremetov, 98] Sheremetov, L. B. & Koulinitch, A. S. Coordination And Communication Issues In Multi-Agent Expert System: Concurrent Configuration Design Advisor. *International Journal Expert Systems with Applications*, Pergamon Press, 15(3-4): 295-307, 1998.

[McArthur & Lewis, 91] McArthur, D. and Lewis, M. (1991). Overview of object-oriented microworlds for learning mathematics through inquiry. *Proceedings of the International Conference on the Learning Sciences*, Evanston, Il.

[Nuñez et al., 98] Nuñez, G., Sheremetov, L., Martínez, J., Guzmán, A., & Albornoz, A. The Eva Teleteaching Project - The Concept And The First Experience In The Development Of Virtual Learning Spaces. *In Proceedings of the 15th IFIP World Computer Congress "The Global Information Society on the Way to the Next Millennium"*, Vienna and Budapest, 31 August - 4 September 1998.

[Sheremetov, 97] Sheremetov, L.B. Desarrollo de la Tecnología y del Software para Repartir Cursos Vía el World Wide Web. *En Memorias del Simposium Internacional de Computación "Nuevas Aplicaciones e Innovaciones Tecnológicas en Computación"*. Mexico-city, Mexico, November 12-14, 1997, pp. 171-181.

[Sheremetov, L. & Núñez, 99] Sheremetov, L. & Núñez, G. (1999). Multi-Stage Cooperation Algorithm and Tools for Agent-Based Planning and Scheduling in Virtual Learning Environment, The 1st International Workshop of Central and Eastern Europe on Multi-agent Systems (CEEMAS'99), 30th May-3rd June, St. Petersburg, Russia. (to appear)

[Singh, 96] Singh, M. P. *Multiagent Systems, A Theoretical Framework for Intentions, Know-How, and Communications*, Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science, Volume 799, (subseries: Lecture Notes in Artificial Intelligence).