

Los comienzos de la Enseñanza Asistida por Computadora. Papel de España

Antonio Vaquero

Facultad de Informática, Universidad Complutense de Madrid
E-28040 - Madrid
{vaquero@sip.ucm.es}

Resumen: La enseñanza con computadoras empezó al comienzo de los años 60 en los EEUU. En Europa empezó poco más tarde. España no estuvo ausente de esa línea de I+D. En 1964 se inauguró un sistema de Enseñanza Asistida por Computadora pionero en Europa. Se construyeron los dispositivos periféricos de salida, así como el acoplamiento de los mismos a una computadora IBM-1620. Además se desarrolló el sistema de programación para creación de lecciones y se crearon muchas lecciones como material de enseñanza adjunta. El sistema se aplicó a la enseñanza de la Informática en la Universidad desde 1965 hasta 1974. Esta línea de trabajo siguió cultivándose, a partir del grupo que la inició, extendiéndose y diversificándose en varios grupos especializados.

1. Introducción

En las aplicaciones educativas, la Informática es un medio. El fin es la enseñanza para un aprendizaje eficaz. En la Informática Educativa la actividad a desarrollar es la enseñanza y el objetivo es el aprendizaje. La principal aportación de la tecnología a la educación es que la máquina puede prestar atención a cada alumno. Se trata, por tanto, de individualizar la enseñanza interactuando con el alumno mediante máquinas. Cualquier método de enseñanza debe pretender provocar la actividad del alumno porque, para aprender, éste no debe ser un ente pasivo [Skinner 54]. Para alcanzar este objetivo, toda técnica de enseñanza debe basarse en la psicología individual y en las teorías del aprendizaje [Ausubel 68], aunque se desconozcan aún cosas fundamentales en estos campos.

Previamente al proceso de aprendizaje, se deben definir muy precisamente los objetivos que se pretenden alcanzar y, consecuentemente, el material a mostrar se ha de organizar de la forma más lógica para conseguir los objetivos definidos.

Los resultados han de ser susceptibles de medida, siempre que se pueda, de manera que se tenga un indicativo para dilucidar si se han logrado o no los objetivos pedagógicos, o el grado de acercamiento a los mismos.

No debemos dejar de aprovechar la tecnología para crear situaciones nuevas de aprendizaje y enseñanza eficientes, en una educación más extendida y de mayor calidad, en beneficio del alumno y del profesor en el aula y, en general, de todo el mundo a lo largo de su vida. Una introducción a la historia

inicial de la Informática Educativa puede verse en [Vaquero 87] y, más extendida, en [Coulson 62].

En definitiva, la Informática Educativa debe explotar la Tecnología, en particular las tecnologías de la información y de las comunicaciones, aunque en un principio éstas se hayan creado sin pensar en fines específicamente educativos.

2. El nacimiento en EEUU

Las primeras máquinas para enseñar fueron puramente mecánicas. Puede decirse que el creador de métodos que apuntaban ya hacia lo que mucho después se llamó Enseñanza Programada fue el psicólogo norteamericano Sidney Pressey, quien, ya en 1924, intuyó la revolución que podría tener lugar en el campo de la Enseñanza ayudándonos de máquinas. Llegó a tener patentadas cuatro máquinas de enseñanza puramente mecánicas. Sus experiencias consistían en someter al alumno a una serie de pruebas programadas que no sólo le daban un indicativo de la calidad del aprendizaje individual, sino que, al seguir las, el alumno consolidaba y perfeccionaba conocimientos previamente adquiridos en parte [Pressey 27]. Naturalmente las estrategias pedagógicas que podían implementarse en ese tipo de máquinas eran muy simples.

Esta línea de trabajo no tuvo continuación hasta mucho más tarde, cuando B. F. Skinner comienza a investigar en los fundamentos de la enseñanza y el análisis del comportamiento verbal. Sus trabajos son recogidos en la obra "Verbal Behavior" [Skinner 57], que tuvo un fuerte impacto. Desde entonces muchos investigadores comienzan a estudiar el tema y se perfilan las ideas características de la Enseñanza Programada [Margulies 62].

En "Enseñanza Programada" la idea central es que el alumno ha de ejecutar secuencialmente una serie de acciones que están previamente estructuradas. Es decir, ha de seguir un programa, de forma que, al final del mismo, haya aprendido lo que se pretendía.

Puede decirse que la Enseñanza Programada es un tipo de enseñanza con las siguientes características:

1.- Capacidad de instruir eficazmente sin participación directa del profesor y de forma que cada alumno pueda aprender a su propio ritmo.

2.- Distribución del material en pequeñas partes y presentación de estos elementos simples en secuencias ordenadas, cada una apoyándose en la anterior, de forma que el estudiante pueda seguir aprendiendo independientemente de toda la información precedente y con un mínimo de error.

3.- Exigencia de frecuentes respuestas del alumno, haciendo de éste un participante activo.

4.- Confirmación o corrección inmediata de la respuesta, para que el alumno conozca el valor de ésta.

5.- Pruebas del programa con estudiantes y revisión del mismo como método esencial en el desarrollo del programa, para asegurar el logro de los objetivos de la enseñanza.

Esta definición abarca a los distintos sistemas de programación (en el sentido de Enseñanza Programada) conocidos: la "Programación Lineal", cuyo creador fue Skinner [Skinner 57], y la "Programación Ramificada", debida a M. Crowder [Crowder 62]. La diferencia fundamental entre ambos tipos de programas es que, en la Programación Ramificada, el material que se presenta a cada estudiante debe estar directa y continuamente definido por la forma particular de adquisición de conocimientos que tenga éste. El itinerario seguido a través del programa es propio de cada alumno y totalmente imprevisible.

Un programa con "preguntas de elección múltiple" no es un programa intrínseco a menos que, para cada elección, el material asociado haya sido preparado específicamente para el tipo de estudiante que haga esa elección.

La base pedagógica de una buena enseñanza programada reposa en el postulado de que el aprendizaje tiene lugar durante la exposición de la información en cada "paso". La respuesta elegida por el alumno a cada pregunta es el medio de saber lo que ha aprendido y, por tanto, de decidir lo que hace falta para completar la comprensión.

La pregunta fundamental, desde el punto de vista pedagógico, es: ¿Se puede prever todo lo que puede pasar por la mente del alumno? Es muy ilustrativo desarrollar algún trozo de materia en forma de texto de enseñanza programada para ver las dificultades que ello entraña. Así se desarrollaron los llamados libros revueltos (scrambled books) [Markle 64].

Las primeras computadoras aplicadas a la enseñanza fueron dedicadas a implementar estrategias de lo que Crowder denominó Programación Intrínseca [Crowder 62], o sea que eran ‘scrambled books’ electrónicos. Pero las computadoras permitieron un nivel superior de sofisticación en las estrategias tutoriales y, por tanto, mayor adaptación al aprendizaje individual [Margulies 62], con técnicas de Programación Extrínseca [Crowder 62]. Esta etapa previa a la introducción de las computadoras como máquinas de enseñar está bien expuesta por Gordon Pask en [Pask 60]. Las primeras experiencias estuvieron en marcha alrededor de 1960. La Office of Naval Research organizó en 1961 la primera de las anuales “Conference on Application of Digital Computers to Automated Instruction”, en las que se presentaba el estado del tema.

Para situarnos, vamos a mencionar algunas de las experiencias iniciales más significativas.

En 1959 se estaba practicando, en el Computer Applications Laboratory de la Universidad de Florida, enseñanza de Aritmética Binaria con una IBM 1500. Posteriormente se desarrolló el lenguaje Coursewriter, primer lenguaje de autor, creado para facilitar a los enseñantes la preparación del material pedagógico.

En 1960 Systems Development Corporation experimentaba con una computadora que controlaba un proyector de diapositivas para enseñar a un solo alumno. Posteriormente la misma compañía desarrolló el proyecto CLASS, pudiendo enseñar simultáneamente hasta a 20 alumnos con auxilio de un profesor. El alumno podía intervenir para responder a preguntas de elección múltiple. El laboratorio fue concebido para poder investigar diversas propuestas educativas [Bushnel 61].

En la universidad de Illinois se desarrolló el proyecto PLATO, dirigido por D. Bitzer [Bitzer 61], con distintas versiones a lo largo de los años 60 y

posteriores [Crowder 62]. Es de resaltar, como una curiosidad, que, dentro del proyecto, se materializó la primera pantalla de plasma interactiva táctil.

En el Institute for Mathematical Studies in the Social Sciences de la Universidad de Stanford, bajo la dirección de P. Suppes, se desarrolla un proyecto, con la colaboración de IBM, apoyado en 1963 por una IBM 7090, muy ambicioso [Suppes 68].

La evolución en este campo fue muy pronunciada a lo largo de esa década, como se puede ver en [Hickey 67].

Puede decirse que la enseñanza mediante computadoras fue extendiéndose, a lo largo de la década de los años 60, como una mancha de aceite, por las universidades americanas. Este movimiento estuvo fuertemente apoyado por las empresas y las instituciones, que auguraban el impacto futuro de la tecnología educativa en la sociedad.

3. El surgimiento en Europa

También en algunos países de Europa se iniciaron proyectos en determinadas universidades sobre la aplicación de las computadoras a la enseñanza, aunque algo más tarde que en EEUU. Además la implicación de la industria y las instituciones fue escasísima.

Es difícil rastrear los inicios de este movimiento en Europa por la escasez de publicaciones y de congresos en el área de enseñanza asistida por computadora, lo que señala otra diferencia notable con respecto a los EEUU. Pocos países europeos tenían en marcha sistemas de enseñanza asistida por computadora en la primera mitad de la década de los años 60. Entre ellos se puede mencionar a Bélgica, España, Francia, Rusia y UK.

En la Universidad de Lieja se desarrolló el sistema DOCEO [Houziaux 65], con el que se estuvo enseñando gramática francesa, álgebra y latín durante la segunda mitad de la década de los 60. En Francia, al mismo tiempo, se estaba aplicando alguna computadora a la enseñanza [Nucleus 66]. En [Nagay 65] se recogen algunas de estas iniciáticas experiencias europeas. Aquí nos vamos a ocupar más en detalle del caso de España.

4.El surgimiento en España

Hemos descrito someramente el campo de la EAC a escala mundial. Antes de verlo en España, es ilustrativo conocer el entorno científico y tecnológico del que surgió.

4.1. El entorno científico y tecnológico

El equipo humano dedicado a la EAC nació en el Laboratorio de Calculadoras del Instituto de Electricidad y Automática del CSIC, cuyo director era el Profesor García Santesmases, catedrático de la Facultad de Ciencias Físicas de la UCM. Este grupo fue pionero de la Informática en España. En la década de los 50 este grupo desarrolló órganos de una unidad aritmética con la tecnología de la época. La actividad en Informática de este grupo, desde sus inicios, puede verse en [Santesmases 65] y [Santesmases 82]. Este grupo introdujo la docencia universitaria de la Informática en España. A finales de la década de los 50, ya se dictaba, por José Solé, una asignatura de doctorado sobre Calculadoras Electrónicas en la sección de Físicas de la Facultad de Ciencias de la UCM.

Por lo que se refiere a la Informática Educativa, ya se comenzó, a principios de la década de los 60, un proyecto sobre EAC, dirigido por Solé, que culminó en el sistema que se expone a continuación.

4.2. El sistema UCM-CSIC

En 1964 dicho proyecto desembocó en uno de los primeros sistemas de EAC funcionando en Europa y el primero en España, donde fue único durante bastantes años.

El sistema constaba de una computadora IBM-1620 y un dispositivo selector de información. La limitación principal de las máquinas de aquella época era la capacidad de memoria. La computadora del sistema tenía una memoria de 20.000 celdas decimales; es decir, cada byte contenía un dígito decimal. Tenía instrucciones de longitud variable; es decir, había un código especial del byte de la celda de memoria para limitar la longitud de la instrucción, de modo que el programa en memoria no se parecía en nada a los de las máquinas posteriores, generalmente binarias y de instrucción de longitud fija.

Los órganos de entrada-salida de la computadora del sistema eran una máquina de escribir y una unidad de cinta perforada. La unidad de entrada, para el alumno en la sesión de enseñanza, era la máquina de escribir del sistema de entrada-salida de la computadora. La unidad de salida, para el alumno, era un selector-presentador de información con una pantalla de proyección. El selector de información fue construido completamente por el equipo dirigido por J. Solé. Aunque se publicó mucho más tarde [Santesmases 69], el sistema funcionaba perfectamente en 1964 y fue expuesto en 1965 en el XXV Aniversario del Instituto de Electricidad y Automática del CSIC como un hito notable. El sistema, en síntesis, podía implementar cualquier programa intrínseco (en el sentido de Crowder). En la fig.1 se ve parte del grafo de una lección. Los nodos son preguntas, que tienen varios arcos de salida correspondiendo a respuestas de elección múltiple, o cuadros informativos con un solo arco de salida.

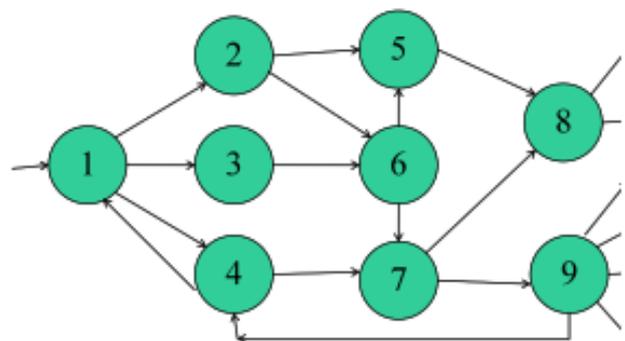


Figura 1

Vamos a describir someramente el selector de información. La información a mostrar estaba almacenada en una cinta de película de 36 mm. Cada cuadro a mostrar era una imagen que se proyectaba en una pantalla. A cada cuadro se asociaba un código registrado en una imagen fotodigital, del mismo tamaño que el cuadro informativo. El cuadro de código estaba compuesto por 3*4 cuadrados, cada uno negro o transparente. Cada 4 cuadrados se corresponden con un dígito decimal codificado. Además cada cuadro de código tenía una pestaña lateral en negro, que se utilizaba para la parada de la cinta. Ver fig. 2.

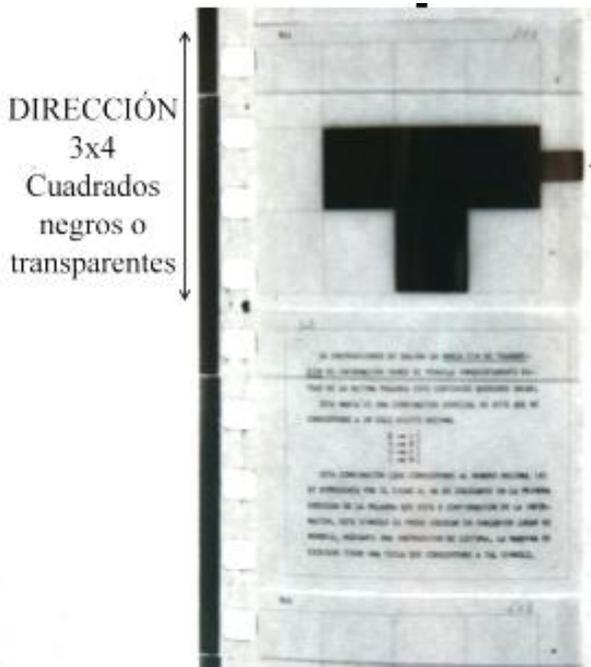


Figura 2

De acuerdo a esa disposición una cinta podía almacenar hasta 1000 cuadros de información con dirección asociada. Esa información era más que suficiente para los propósitos pedagógicos de cualquier lección de Enseñanza Programada. La cinta se enrollaba en dos bobinas por sus extremos y se movía, en ambos sentidos, accionada por un mecanismo de arrastre que se componía de tensores y un motor. Ver fig. 3.

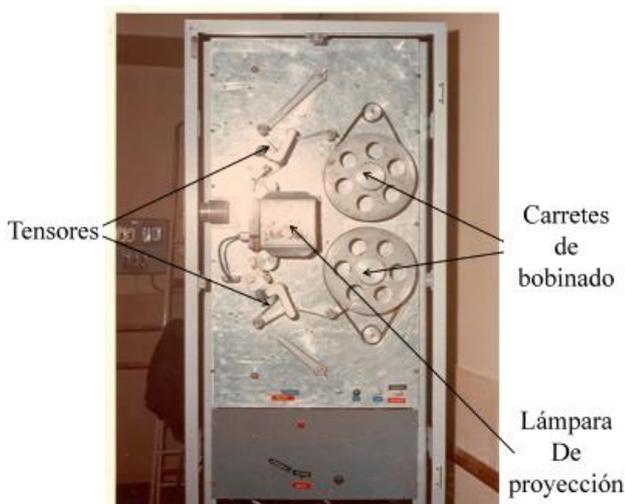


Figura 3

La circuitería electrónica asociada era un dispositivo compuesto de tarjetas impresas montadas sobre un bastidor. Las tarjetas fueron diseñadas y realizadas, con ayuda de los laboratorios propios y externos especializados, por el equipo humano que proyectó el sistema. En la fig. 4 se ve la parte frontal del armario que contenía toda la circuitería. Detalles de los circuitos pueden verse en [Santesmases 69].

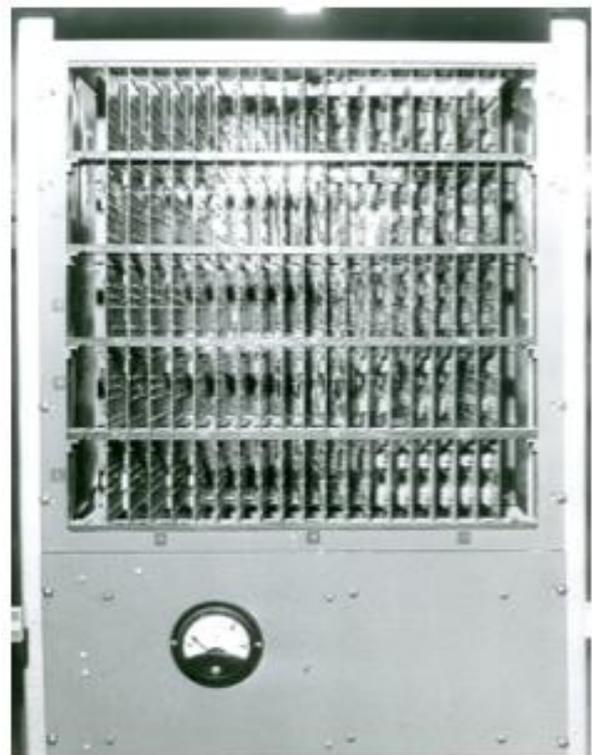


Figura 4

También hubo que hacer la conexión de la IBM-1620 con el selector de información, sacando de la computadora las señales que controlaban la salida de la máquina de escribir, para lo que tuvo que dar permiso formal la compañía IBM.

El control de las imágenes a mostrar se realizaba por la computadora mediante un programa, con la información de la disposición de las imágenes en la cinta. Dado el código de la última imagen mostrada y la información de la intervención del alumno, el programa calculaba el código de la siguiente imagen a mostrar y suministraba la señal de avance o retroceso de la cinta, de acuerdo a la disposición relativa de las dos imágenes involucradas. La cinta

arrancaba y se desplazaba hasta que se encontraba el código buscado, se paraba y se encendía la luz de proyección, mostrando en la pantalla la imagen seleccionada.

El alumno podía dejar la sesión en cualquier momento; pero el sistema tenía la facultad de reinicializar la sesión, empezando por mostrar la primera imagen de cualquier lección seleccionada.

En el papel de la impresora quedaba impreso el itinerario seguido por el alumno en función de sus intervenciones a lo largo de la sesión de enseñanza, así como otros datos interesantes. Todo ello servía posteriormente para estimar evaluaciones del alumno y de la propia eficacia pedagógica de la lección, lo que se utilizaba después para mejorarla.

El programa de control de la presentación de las imágenes fue mejorando mientras tanto. El programa de control de las sesiones de enseñanza evolucionó en dos sentidos.

El primero de ellos fue la generalización del control de las lecciones. De un programa para cada lección se pasó a un programa para cualquier lección. Al principio, para cada lección, había que preparar un programa “ad hoc”. Después se realizó un programa genérico que, para cada lección particular, se inicializaba con los datos de la disposición de los cuadros en la cinta correspondiente a esa lección [Vaquero 68].

El segundo sentido se refiere al almacenamiento de datos en la memoria, independientemente de que quedasen registrados en el papel de la impresora, acerca de la sesión de enseñanza, tales como el itinerario seguido por el alumno a lo largo de la sesión y otros datos estadísticos. Estos datos servían posteriormente para estudiar el comportamiento del alumno, estimar evaluaciones y mejorar la pedagogía de las lecciones en un proceso de realimentación costoso en esfuerzo humano. Sin embargo no puede decirse que el sistema implementaba programas extrínsecos, en el sentido de Crowder, sino sólo programas intrínsecos; es decir, no se adaptaba cada sesión, en tiempo real, a las características del alumno que la realizaba.

4.3 Aplicación del sistema

El sistema descrito en el punto 4.2 fue utilizado en enseñanza universitaria formal desde 1965 hasta 1977.

Hasta 1970 fue utilizado en el Curso Internacional de Automática, desde su primera impartición (1965/6). Estos cursos anuales de postgrado, organizados por el Instituto de Electricidad y Automática y patrocinados por la UNESCO, la OEA, el Instituto de Cultura Hispánica, la UCM y el CSIC, alcanzaron un gran prestigio y fueron una referencia tecnológica de primer orden en el área iberoamericana. En esos cursos internacionales el sistema fue aplicado a la enseñanza de las computadoras y su programación, elaborándose muchas lecciones sobre esas materias. Los alumnos tenían acceso libre al sistema, fuera de las clases presenciales y las prácticas regladas. Tanto los alumnos como los profesores consideraron que el sistema prestaba una ayuda estimabilísima al aprendizaje de la Informática.

También fue aplicado, hasta 1977, en la especialidad de Cálculo Automático de la licenciatura en Ciencias Físicas de la UCM. En ella, además de enseñanza adjunta a las clases teóricas, se hacían prácticas en lenguaje ensamblador LEMUS [Vaquero 72] sobre la computadora MUS [Vaquero 71], binaria y de instrucciones de longitud fija, simulada en la IBM 1620. En ese año IBM desmanteló la computadora por su obsolescencia. El sistema cumplió con creces el propósito pedagógico con el que se concibió.

4.4 Continuación de la línea de trabajo

Aquí nos vamos a ocupar sólo de las prolongaciones directamente derivables, tanto en hardware como en software, de los comienzos expuestos.

4.4.1 Estructura de la información y máquinas de enseñar

Siguiendo un orden cronológico, se prosiguen estudios sobre la linealización de los grafos de la enseñanza programada [Vaquero 76d], con el objetivo de relacionar la estructura de las máquinas de enseñar con las estructuras de la información que manejan [Vaquero 73a] [Vaquero 76e]. Se llega así a concebir un método original de direccionamiento de

los cuadros de las lecciones programadas [Vaquero 73b] [Vaquero 76a]. Ello permitió concebir y realizar un sistema autónomo individual de enseñanza programada, de programa externo [Vaquero 75] [Vaquero 79]. La unidad de entrada tenía cuatro teclas, para responder a las preguntas de elección múltiple, más las teclas de inicio y continuación. Las imágenes en la cinta de película, de 16 mm., se podían clasificar en cuatro grupos. La disposición de los cuadros informativos en la cinta se establecía de acuerdo a esa clasificación. Con la información asociada a la clase de imagen mostrada en pantalla y la intervención del alumno, la imagen siguiente estaba unívocamente localizada en la cinta. Por tanto fue posible eliminar los cuadros de dirección en la cinta de película.

Así fue posible realizar el control de las sesiones de enseñanza con un dispositivo digital de cuatro estados [Vaquero 76b] y sustituir una computadora, la IBM-1620 por un dispositivo de circuitería digital cuya unidad de control tenía una memoria de dos flip-flops JK. Se demostró que era factible implementar cualquier programa intrínseco (en el sentido de Crowder) con un sistema tan simple.

Con la llegada de los microprocesadores, que ya eran de un coste asumible, dejaba de tener sentido la sustitución de una computadora por un dispositivo de control basado en flip-flops. Además la cantidad de memoria pasaba a otro orden de magnitud, con lo que se hacía factible en tiempo real la adaptación de la presentación de la información al alumno según sus características de aprendizaje. Así pues los sistemas que se realizaron desde entonces estaban basados en computadora [Vaquero 76c].

4.4.2 Software educativo

También dejó de tener sentido almacenar la información a mostrar en memorias secuenciales externas. Pasó a ser más importante proporcionar a los profesores herramientas para producir material educativo de EAC, en el sentido del lenguaje de autor pionero Coursewriter. Era, y sigue siendo, necesario desarrollar software educativo para la comunidad hispanohablante. Hay que crear métodos y herramientas de ayuda propios, con el fin de ser utilizados por los usuarios profesores en español para producir el material adecuado.

Los lenguajes de autor, como Coursewriter o Autotutor, exigían un esfuerzo muy arduo, para dominar el lenguaje, al profesor que tenía que producir el material educativo.

Progresivamente fueron siendo sustituidos por los llamados sistemas de autor [Hernández 88], encuadrados dentro de la llamada Ingeniería del Courseware [Hernández 88]. Históricamente el primer sistema de autor en español del que tenemos noticia es el SIETE [Vaquero 86]. Desde entonces la Informática Educativa ha tenido continuidad expansiva y sigue creciendo y ramificándose en múltiples facetas.

Referencias

[Ausubel 68] Ausubel D. P. "Educational Psychology: A cognitive View" New York, Holt, Reinhart and Winston, 1968.

[Bitzer 61] Bitzer, D. "An Automatic Teaching Device". Transactions on Education, F-4, 1961.

[Bushnel 61] Bushnel, D., and Cogswell, J. F. "A Computer-based laboratory for automation in school systems". Audio-Visual Communication Review, Jul-Aug 1961.

[Coulson 62] Coulson, J. E. (ed.) "Programmed Learning and Computer-Based Instruction" John Wiley and Sons, 1962.

[Crowder 62] Crowder, N. A. "Intrinsic and Extrinsic Programming", en [Co62].

[Hernández 88] Hernández, L. y Vaquero, A. "Computer Assisted Courseware Engineering". Int. Proc. Conf. on Systems Research, Informatics and Cybernetics. Baden-Baden, 1988.

[Hickey 67] Hickey, A. E. and Newton, J. M. "Computer- Assisted Instruction. A Survey of the Literature" Office of Naval Research, ENTELEK Inc. Jan. 1966.

[Houziaux 65] Houziaux, M-O. and Linsman, M. "DOCEO Adaptive Teaching System". Digital Computer Newsletter, Université de Liège, Vol. 17, Oct. 1965.

[Margulies 62] Margulies, S and Eigen, L. D. "Applied Programmed Instruction" John Wiley 1962.

[Markle 64] Markle, S. M. "Good frames and bad. A grammar for frame writing", John Wiley, N.York 1964.

- [Nagay 65] Nagay, J. "Report on UK-USA Conference on Computer Augmented Instruction". Office of Naval Research, London, December 1965.
- [Nucleus 66] Nucleus "Utilisations d'un ordinateur de taille moyenne en temps partagé". Nucleus, Vol.7, nº 6, 1966.
- [Pask 60] Pask, G. "Electronic Keyboard Teaching Machines". Teaching Machines and Programmed Learning, Vol. 1, 1960.
- [Pressey 27] Pressey, S. "A machine for automatic teaching of drill material". Sch. and Soc. 25, 549. 1927.
- [Sánchez 76] Sánchez Pérez, J.M., Vaquero, A. y Garcia Santesmases, J. "An externally programmed digital system for intrinsic programming". Int. Symp. on Educational Technology. UNESCO. Poznan, 10-12 Nov. 1976.
- [Santesmases 65] Santesmases, J. G. "Data processing in Spain" Data Processing Magazine. New York, May 1965.
- [Santesmases 69] Santesmases, J. G., Solé, J., Vaquero, A. y Guillén, J.M. "Realización de un sistema de enseñanza automática". Revista de Automática, nº 3 y 4, 1969.
- [Santesmases 82] "Early computer developments in Madrid". Annals of the History of Computing, Vol. 4, nº 1, 1982.
- [Skinner 54] Skinner, B. F. "The Science of Learning and the Art of Teaching" Harvard Educational Review, Vol.24, 1954.
- [Skinner 57] Skinner, B. F. "Verbal behavior". Century Psychology Series. (pp. 1-12). East Norwalk, CT, US: Appleton-Century-Crofts. 1957.
- [Suppes 68] Suppes, P., Jerman, M. & Brian, D, "Computer Assisted Instruction: Stanford's 1965-66 Arithmetic Program, Institute for Mathematical Studies in the Social Sciences" New York, Stanford University, Academic Press, 1968.
- [Vaquero 68] Vaquero, A. "Tratamiento de la información en enseñanza automática". Revista de Automática. Vol. 1, 1968.
- [Vaquero 71] Vaquero, A. y González, C. "Simulación de una calculadora de propósito pedagógico a nivel lenguaje- máquina" Revista de automática, 1971.
- [Vaquero 72] Vaquero, A. y González, C. "El lenguaje LEMUS y los programas traductores asociados" Revista de Automática, 1972.
- [Vaquero 73a] Vaquero, A. "Análisis del proceso de información en enseñanza programada y aplicación a las máquinas de enseñar". Revista de Automática, nº 15, 1973.
- [Vaquero 73b] Vaquero, A. "Métodos de direccionamiento en memorias fotodigitales para máquinas de enseñar". Revista de Automática, nº 17, 1973.
- [Vaquero 76a] Vaquero, A., Sánchez Pérez J.M. y Santesmases, J. G. "Addressing methods for external sequential photodigital memories for teaching machines". Int. Symp. on Educational Technology. UNESCO. Poznan, 1976.
- [Vaquero 76b] Vaquero, A., Sánchez Pérez J.M. y Troya, J.M. "An externally programmed digital system for intrinsic programming". Int. Symp. on Educational Technology. UNESCO. Poznan, 1976.
- [Vaquero 76c] Vaquero, A., Sánchez Pérez J.M. y Troya, J.M. "Microprocessor Based Learning System". Euromicro Journal, Vol. 5, nº 6, Nov. 1976.
- [Vaquero 76d] Vaquero, A. "Data Structures in Programmed Instruction". Int. Symp. on Educational Technology. UNESCO. Poznan, 1976.
- [Vaquero 76e] Vaquero, A. "The Programmed Instruction Graph in connection with Teaching Machines". Int. Symp. on Educational Technology. UNESCO. Poznan, 1976.
- [Vaquero 79] "Un tipo de máquinas de enseñanza de bajo coste". Revista de la Real Academia de Ciencias, tomo LXXXIII, cuaderno 2º, 1979.
- [Vaquero 86] Vaquero, A., Fernandez, C., Sanchez, J.M., Troya, J.M., Hernandez, L. "SIETE: Sistema Informatizado en español para el desarrollo de Temas de Enseñanza". Rev. de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Tomo LXXX, Cuad. 3, 1986.
- [Vaquero 87] Vaquero, A., Fernández, C. 1987 "La Informática Aplicada a la Enseñanza". Ed. EUDEMA. 1987.

Propuesta para la evaluación del impacto de los foros de discusión sobre los resultados de la colaboración en actividades de aprendizaje. Guía de colaboración

Luz Yolanda Morales Martín, Héctor Antillanca Espina

Universidad Santiago de Chile, Universidad Militar Nueva Granada

lymorale@hotmail.com, hantilla@informatica.usach.cl

Resumen: Esta propuesta de investigación aborda ciertas deficiencias identificadas en los ámbitos del conocimiento teórico y empírico de los sistemas colaborativos y los sistemas de apoyo al aprendizaje, específicamente en lo relacionado con la evaluación del impacto de esta tecnología sobre los resultados de la colaboración en contextos sociales reales. En particular, este trabajo propone evaluar el impacto de un ambiente colaborativo en el trabajo en grupos de estudiantes, apoyados en la herramienta foros electrónicos de discusión y con la ayuda de una guía colaborativa. Los resultados contribuirán a establecer una estructura para el diseño de foros para el aprendizaje colaborativo y a la formulación de una metodología para la evaluación de la colaboración de este tipo de sistema CSCL en un contexto social real de aprendizaje.

Palabras clave: evaluación de la colaboración, resultados de la colaboración, aprendizaje colaborativo, foros de discusión, guía de colaboración.

Abstract: This research deals with certain flaws recognized in knowledge theoretical-and-empirical areas of collaborative systems and learning support systems, particularly regarding the impact assessment of that technology on collaboration results within actual social contexts. Specifically this paper aims to assess a collaborative environment impact on a student-group work supported by an electronic discussion forums tool and a collaborative guide. Results will help to establish a framework for designing forums regarding collaborative learning and a methodology development to assess the contribution of this type of CSCL system within a real social context for learning.

Keywords: collaborative assessment, results from collaboration, collaborative learning, discussion forums, collaboration guide.

1. Introducción

En el campo de la educación superior, los docentes conocen y usan las herramientas de comunicación y coordinación para actividades personales tales como la preparación de sus clases, programación de actividades, el envío de notas y comunicación de ideas, pero hay poca evidencia de su uso premeditado en la ejecución de procesos de aprendizaje colaborativo. Del mismo modo, los estudiantes las usan principalmente para comunicarse y compartir información, sin mucha conciencia de que podrían participar en forma

colaborativa.

En general, las actuales herramientas facilitan la comunicación y la coordinación pero tienen problemas para apoyar la colaboración. Una causa de esta situación es el escaso conocimiento, comprensión, teorías y práctica del trabajo colaborativo (Ramage, 1996; Senge, 1994). Una forma de detectar estos problemas es a través de su evaluación en contextos sociales de aplicación real (Collazos, C. A., 2008; Ramage, 1996). En este sentido, no ha perdido aún vigencia el diagnóstico de Grudin (1988) cuando recomendó

investigar sobre el funcionamiento de los grupos y organizaciones y sobre las reales dificultades que impiden que las aplicaciones colaborativas sean efectivas. Inkpen, Mandryk, Morris & Scott (2004) sugieren enfocar los estudios en determinar indicadores para saber en qué grado el uso de la tecnología ha facilitado o impedido la colaboración.

La efectividad del aprendizaje colaborativo en aspectos como la formación del pensamiento crítico y resolución de problemas ha sido estudiada y documentada por varios autores (Johnson, 1986; Kagan, 1986 en Appelgren, 2004; Nunan, 1993; Collazos C. A., 2008), pero el aprendizaje colaborativo apoyado por computador carece de investigación relevante en torno al impacto de la tecnología en los sistemas de evaluación del proceso de colaboración (Collazos C. A., 2008). Al respecto Martínez M.A. (2003) dice “para evitar caer en propuestas idealizadas basadas en el estudio de sistemas teóricos que no responden a necesidades del entorno se debe trabajar desde el principio sobre una situación real de evaluación, para ir aplicando las ideas y aprendiendo de la reflexión sobre esta experiencia”

Esta investigación se enfoca en el uso de los foros. Este tipo de herramienta es ampliamente utilizado en ambientes virtuales que apoyan el proceso enseñanza-aprendizaje, aunque inicialmente se diseñaron para la distribución de noticias y no como ambientes de comunicación interactiva (Hauben & Hauben, 1997; Reyes & Tchounikine, 2006). Su uso masivo en las plataformas de aprendizaje indica que podría facilitar la colaboración y propiciar conversaciones para el aprendizaje entre los participantes.

La innovación en el diseño de los sistemas colaborativos basado en los resultados de una permanente evaluación en contextos reales de práctica y en los principios y teorías como el aprendizaje colaborativo, el constructivismo entre otras, permitirá el desarrollo de procesos educativos de calidad. Al respecto Collazos (2003) dice “uno de los requerimientos básicos para la educación del futuro es preparar a los estudiantes para que puedan participar en una sociedad de información en la que el conocimiento se convierta en el recurso más

crítico para el desarrollo social y económico”, igualmente resalta “el aprendizaje colaborativo apoyado por computador es una de las ideas más promisorias para mejorar la enseñanza- aprendizaje con la ayuda de la moderna tecnología de la información y comunicación”.

2. Formulación del Proyecto

Este proyecto plantea la utilización del foro en los procesos de aprendizaje colaborativo. El reto principal es observar, describir y analizar el desarrollo del proceso de colaboración en un contexto real de aprendizaje, para esto se propone estudiar grupos de estudio de tres integrantes, tamaño típico de los grupos de estudiantes en cursos de ingeniería. El objetivo es, a la luz de los principios del aprendizaje colaborativo, determinar el impacto del uso del foro de discusión en las actividades colaborativas mediante una valoración de los resultados de los procesos de colaboración.

Actualmente la tecnología ofrece una gran variedad de herramientas para apoyar la educación, dando lugar a sistemas interactivos de E-learning, B-learning y M- Learning. Esto ha permitido el trabajo en grupos cuyos integrantes están dispersos geográficamente en cursos y actividades en línea. Una de las herramientas más usadas es el foro. En general se puede decir que la mayoría de estas herramientas permiten la comunicación y la coordinación, pero la colaboración es un proceso que no se encuentra definido claramente en las herramientas de las aulas virtuales y se dificulta. Posiblemente una causa es que además de la herramienta informática se necesita la organización y desarrollo de algunas acciones o estrategias metodológicas, las cuales podrían ser inducidas por la misma herramienta así como espacios para el trabajo individual y para la construcción o elaboración de los productos que resulten de las conversaciones y de la colaboración.

Si la implementación de una actividad colaborativa para el desarrollo de un tema de investigación mediante el uso del Foro permite obtener mejores resultados de colaboración y por ende de aprendizaje se puede proponer innovaciones al

foro virtual relacionadas con la inclusión de artefactos que permitan la colaboración. Para confirmar este supuesto se induce la creación de un método o camino basado en teorías de aprendizaje, de colaboración y evaluación (Johnson & Johnson, 1994; Arango, 2003; Collazos C. A., 2003; Collazos C. A., 2008) cuyos resultados se podrán replicar y transferir para hacer un aporte al cuerpo de conocimiento sólido y válido en el diseño, construcción y evaluación de sistemas colaborativos para el aprendizaje.

3. Discusión Bibliográfica

Varios investigadores han estado en la búsqueda de las conexiones entre los foros y la colaboración. En este sentido, Costaguta (2006) realizó revisiones sobre la funcionalidad y características de 14 aplicaciones diferentes de Groupware fundamentándose en la presencia de agentes inteligentes. Pérez, Álvarez, García, Pascual, & Fombona (2004) hicieron un análisis teórico sobre las limitaciones y posibilidades del foro como herramienta de enseñanza-aprendizaje donde se considera que el foro de discusión es una herramienta casi imprescindible en la que se sustenta el trabajo colaborativo. Adicionalmente, se han explorado posibilidades del Foro virtual como una estrategia metodológica para el desarrollo del pensamiento crítico en la universidad, donde se concluye que la mayoría de la población encuestada en el estudio (cerca de 96%) percibe y aprecia el foro virtual como una metodología que propicia el desarrollo del pensamiento crítico. (Federov, 2005).

Además se ha estudiado la evolución del aprendizaje en grupos de trabajo colaborativos usando tecnología informática, donde no solamente el foro es usado como herramienta sino también el chat (Cataldi & Almenara, 2006). Aportes de Cubillos (2008), acerca de la sistematización y análisis de la experiencia de implementación del Foro Virtual, como espacio de trabajo para el desarrollo de la agenda semestral de actividades de Excálibur (un grupo de investigación de la Universidad Católica de Colombia), arrojó evidencias de que el Foro da sentido a las temáticas tratadas en él, las convierte en pretexto para que se

establezca la reflexión sobre el impacto de las tecnologías emergentes, sobre los caminos que abrió la Web 2.0 y sobre las implicaciones de la ingeniería del software en la formación del ingeniero de sistemas.

Reyes & Tchounikine (2006) afirman que investigaciones han mostrado dificultades asociadas a los foros donde señalan que es necesario determinar mediante su evaluación cuál es el impacto de su uso en los resultados de la colaboración y si se puede optimizar su uso como una herramienta efectiva para apoyar el aprendizaje colaborativo. Al respecto Bravo (2005) dice que la evaluación de los productos informáticos y la realización de experiencias reales que justifiquen su desarrollo son tareas importantes en el ciclo de vida de un software.

En la literatura revisada se encuentra que existen varios argumentos teóricos y otros prácticos acerca del impacto del foro como herramienta para el aprendizaje colaborativo, sin embargo, no se reportan métodos para evaluar el impacto del foro en el proceso de colaboración.

La evaluación de ambientes virtuales de aprendizaje ha sido una preocupación permanente de la comunidad científica que estudia el Aprendizaje Colaborativo Asistido por Computador, o Computer Supported Collaborative Learning (CSCL). La investigación en este campo se ha orientado al estudio del proceso de evaluación del sistema colaborativo (Dillenbourg, Baker, Blaye, & O'Malley, 1995) y al proceso de aprendizaje colaborativo haciendo énfasis en la evaluación de cada una de las etapas y los indicadores de desempeño involucrados en el proceso (Barros & Verdejo, 1999) pero surge la necesidad de realizar esta evaluación en contextos reales de aplicación (Martínez, 2003), el objeto de estudio de este trabajo.

Pinelle, Gutwin, & Greenberg (2003), presentaron una nueva técnica de modelamiento de ambientes compartidos con mecanismos de colaboración denominada Collaborating Usability Analysis (CUA), su mayor contribución es la de proveer a los evaluadores de un marco en el cual ellos pueden simular el uso realista de sistemas colaborativos e

identifican problemas de usabilidad que son causados por los interfaces de groupware. Otros análisis de ambientes colaborativos buscan separar los efectos de la construcción de conocimiento y la colaboración en grupo en los resultados del aprendizaje de cursos basados en la web, esto es, utilizando sistemas colaborativos de tipo sincrónico y asincrónico. (Benbunan-Finch & Arbaugh, 2006).

Varios investigadores (Collazos C. A., 2003; Inkpen, Mandryk, Morris, & Scott, 2004) afirman que hace falta investigación acerca del impacto de la tecnología en el monitoreo y la evaluación de los procesos colaborativos. Asimismo, generan modelos para mejorar los procesos de colaboración a través de la evaluación y el monitoreo de actividades grupales.

4. Hipótesis

La implementación de una guía de colaboración en un foro de discusión para desarrollar una actividad de aprendizaje en grupo, permite obtener mejores niveles de colaboración y mejores niveles de aprendizaje en contraste con el desarrollo de la misma actividad de aprendizaje a través de un foro tradicional

5. Objetivo General

El objetivo es determinar el impacto que produce el uso del foro de discusión electrónico con la ayuda de una guía colaborativa, en los resultados de la colaboración y del aprendizaje de los integrantes de grupos pequeños, en el desarrollo de una actividad de aprendizaje

6. Metodología

La investigación se enmarca dentro del tipo cuasi-experimental con el apoyo de métodos de tipo cualitativo y de modelación. La población que se estudiará está conformada por docentes y estudiantes del programa de ingeniería civil de la Universidad Militar Nueva Granada localizada en

la ciudad de Bogotá, Colombia en las modalidades presencial y a distancia.

Se utilizará como Ambiente virtual de aprendizaje el entorno Moodle específicamente la herramienta foros.

Se planea conformar aproximadamente 40 grupos de tres estudiantes. Los talleres se planearán directamente con los docentes de cada asignatura teniendo especial cuidado en que la actividad de aprendizaje sea factible de desarrollar en forma colaborativa, igualmente se determina con los docentes la fecha de aplicación y la forma de evaluación la cual será en grupo e individual.

7. Guía de colaboración

El diseño de la guía de colaboración, tiene como objetivo inducir la colaboración entre los integrantes de grupos pequeños en un foro. Se fundamenta en tres de los elementos claves del aprendizaje colaborativo: la interdependencia positiva, la responsabilidad individual y la igual participación. (Johnson & Johnson, 1994; Collazos, 2008). La interdependencia positiva es el corazón de la colaboración, corresponde a la sensación que tienen los integrantes de un grupo de cómo lo que afecta positiva o negativamente a uno de ellos, afecta al resto del grupo. La responsabilidad individual se enfoca al cumplimiento de los compromisos. La igual participación hace referencia a que las actividades o trabajos se distribuyen de manera equitativa para que no haya mayor carga en algún o algunos de los integrantes.

Basados en un modelo interpretativo de la colaboración, se quiere realizar una aproximación al conocimiento de ésta, en un contexto real de aprendizaje, utilizando un foro de discusión electrónica con ayuda de una guía colaborativa. Se parte del planteamiento de que uno de los indicadores de que se empieza a colaborar entre los integrantes de un grupo es el inicio del flujo de información y posiblemente a medida que aumenta la colaboración se iniciarán actividades de coordinación y de comunicación (conversaciones).

Hasta aquí se pueden establecer dos actividades fundamentales: coordinación y comunicación; pero estas dos no permiten un proceso completo de colaboración para el desarrollo de un trabajo en grupo. Es necesario determinar cuáles otros procesos contribuyen a la colaboración.

Las tecnologías de la información no resuelven por si solas problemas del aprender, que no son problemas de la tecnología (Sánchez 2000). posiblemente estos problemas son anteriores a la tecnología y se relacionan más con los métodos y técnicas del proceso enseñanza-aprendizaje, luego es allí en donde se pueden detectar las otras actividades que permitirán completar ese proceso de colaboración en el cual la coordinación y la comunicación son componentes fundamentales.

Varios autores han aportado en este campo, por ejemplo Taylor-Powell et al. (1998) de la universidad de Wisconsin consideran la colaboración como un nivel alto de integración, para la que previamente se han dado procesos de comunicación, contribución, coordinación y cooperación, y definen la escala de integración que se muestra en la Figura 1.

Integración	Proceso
BAJA ↓ ALTA	Comunicación
	Contribución
	Coordinación
	Cooperación
	Colaboración

Figura 1. Integración de la colaboración Tomado de Taylor-Powell et al. 1998.

Borghoff (2000) expresan la información, la coordinación, la colaboración y la cooperación en función del grado de comunicación entre el grupo, ver Figura 2. A la colaboración le asignan un grado alto de comunicación.

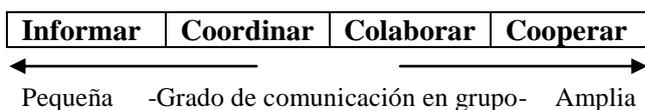


Figura 2. Intensidad del flujo de información en un grupo. Tomado de Borgohff (2000)

En cuanto al aprendizaje colaborativo, este se lleva a cabo en espacios donde hay una gran interacción entre los estudiantes. Lograr estimular a los estudiantes para que interactúen de forma efectiva no es fácil, se requiere una planeación detallada y una coordinación e implementación de un currículo que integre pedagogía y tecnología. Evaluar este proceso se constituye en una tarea aún más compleja. Al respecto Guerrero et al. (2000) han trabajado ampliamente en este campo de evaluación y han identificado métricas como el tiempo, la duración del turno, y otros eventos contables, directamente mensurables y que generalmente pueden ser recogidos automáticamente; e indicadores de cooperación en el trabajo grupal como la utilización de estrategias, la cooperación intra-grupo, los criterios de éxito, el seguimiento y el rendimiento del grupo

Basados en los planteamientos anteriores, para el diseño experimental que se propone se han identificado 7 actividades que posibilitan la colaboración y que podrían llevar a obtener unos niveles altos de aprendizaje y de colaboración, pues integran tanto aspectos del aprendizaje colaborativo presencial como del CSCL. Estas actividades son: Coordinar, motivar, compartir, comunicar, contribuir, negociar significados, cumplir compromisos y consolidar un trabajo. Ver Figura 3.

Colaboración	Aprendizaje colaborativo	CSCL
Coordinar	x	x
Motivar	x	
Compartir	x	
Comunicar	x	x
Contribuir	x	x
Negociar significados	x	
Cumplir compromisos	x	
Consolidar	x	

Figura 3. Actividades Guía de Colaboración

Las nuevas actividades propuestas pueden inducir un proceso de colaboración más completo y orientar el diseño de artefactos para ser incluidos en el foro que le den un mayor impacto en

contextos de aprendizaje.

8. Trabajo futuro

Diseño de nuevas métricas e indicadores para evaluar los niveles de colaboración en función de los elementos claves del aprendizaje colaborativo y de los resultados de aprendizaje para determinar el impacto de la tecnología sobre estos procesos.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos al grupo de investigación Colabora del Departamento de Ingeniería Informática de la Universidad Santiago de Chile y a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Militar Nueva Granada por facilitar los recursos necesarios para el desarrollo de esta propuesta de investigación.

Referencias

Appelgren, G. L.: Soporte para facilitar la conectividad comunicativa con un ambiente electrónico de Aprendizaje Colaborativo. Tesis de Maestría, Universidad Santiago de Chile, Ingeniería Informática, Santiago de Chile. (2004).

Arango, m. L.: Foros virtuales como estrategia de aprendizaje: anexo 1. Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Informática de sistemas y computación. LIDIE. Bogotá: Ediciones Uniandes. (2003).

Barros, B., & Verdejo, M. F.: An Approach to Analyze Collaborations when shared structured workplaces are used for carrying out-group learning processes. In S. P. Lajoie, & Vivet (Ed.), Proceedings of the world Conference on artificial Intelligence in Education. AI-ED 99, pp. 449-456. Amsterdam: IOS press. (1999).

Benbunan-Finch, R., & Arbaugh, J.: Separating the effects of Knowledge construction and group Collaboration in Learning outcomes of web-based courses. ScienceDirect - Elsevier, 778-792. (2006).

Borghoff, Uwe M., & Schlichter Johann H.: Computer_Supported. Cooperative Work. Introduction to Distributed Applications. Springer. (2000).

Bravo, C., Redondo, M. A., Ortega, M., & Bravo, J.: Evaluación de un sistema colaborativo Síncrono para aprendizaje del diseño. (2005).

Cataldi, Z., Almenara, J.: Los aportes de la tecnología informática al aprendizaje grupal interactivo: la resolución de problemas a través de foro de discusión y de chat. Pixel-Bit: Revista de medios y educación, ISSN 1133-8482, págs. 115-130. N°. 27. (2006)

Collazos, C. A.: Aprendizaje colaborativo apoyado por computador. Lunes Científico Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. (2008).

Collazos, C. A.: Una Metodología para el apoyo computacional de la evaluación y monitoreo en ambientes de aprendizaje colaborativo. Tesis Doctoral, Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Escuela de Posgrados., Santiago de Chile. (2003).

Cubillos, G. Excalibur.: Una semilla en la sociedad del conocimiento. STUDIOSITAS , 53-57. (2008).

Dillenbourg, P.: y otros. Collaborative learning: Cognitive and Computational Approaches. Oxford: Elsevier. (1999).

Dillenbourg, P., Baker, M., Blaye, A., & O'Malley, C.: The evolution of research on collaborative learning. In E. S. Reiman, Learning in Humans and Machine: Towards an interdisciplinary learning science. Oxford: Elsevier. (1995).

Federov, A. N.: Foro virtual como una estrategia metodológica para el desarrollo del pensamiento crítico en la universidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Centro de Desarrollo Académico, Cartago, Costa Rica. (2005).

Grudin, J.: Why CSWC applications fail: Problems

in the design and evaluation of organizational interfaces. 85-93. (1988).

Guerrero, L. A., Alarcon, R., Collazos, C.: Indicadores de Cooperación en el Trabajo Grupal. XXVI Conferencia Latinoamericana de Estudios en Informática CLEI, México. (2000).

Hauben, M., & Hauben, R.: On the History and Impact of Usenet and the Internet. Netizens. Wiley-IEEE Computer Society Press. (1997).

Inkpen, K., Mandryk, R., Morris, J., & Scott, S.: Methodology for evaluating collaboration behaviour in Co-Located environments. Conference '04. (2004).

Johnson, D., & Johnson, R.: Learning Together and alone. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. (1994).

Martínez, M. A.: Método y modelo para el apoyo computacional a la evaluación en CSL. Tesis Doctoral. Departamento de informática Universidad de Valladolid. (2003).

Pinelle, David, Gutwin, Carl and Greenberg, Saul: Task analysis for groupware usability evaluation: Modeling shared-workspace tasks with the mechanics of collaboration. In ACM Transactions

on Computer-Human Interaction, 10 (4) págs. 281-311. (2003).

Ramage, M.: CSCW Evaluation in Five Types. Lancaster, Uk: Lancaster University. (1996).

Reyes, P. & Tchounikine, P.: Structural Awareness for Collaborative Learning Environments. (D. kumar, & J. Turner, Eds.) International Federation for Information Processing, 210, 175-184. (2006).

Sánchez I. Jaime., Nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación para la construcción del Aprender. Santiago, Chile: Universidad de Chile, 2000, 320 pp., ISBN: 956-288-843-6, (2000)

Senge, P.: La quinta disciplina. Granica. (1994).

Taylor-Powell, E., Rossing, B. & Geran, J.: Evaluating Collaboratives. Reaching the Potential. Program Development and Evaluation. University of Wisconsin-Extension. Cooperative Extension. Madison. Wisconsin. (1998)

Un Mecanismo para el Análisis de la Interacción Mediante Entornos Virtuales

Raúl A. Aguilar ¹, Ricardo Imbert ² y Laura Rodríguez ²

¹ Universidad Autónoma de Yucatán
Periférico Norte Tablaje 13615, A.P. 172, Cordemex, C.P. 97110, Mérida, México,
avera@tunku.uady.mx

² Universidad Politécnica de Madrid
Campus Montegancedo, 28660, Boadilla del Monte, Madrid, España,
rimbert@fi.upm.es, laura.rodriguez.garcia@alumnos.fi.upm.es

Resumen: En este artículo se describen las prestaciones del Entorno Virtual Colaborativo (EVC) implementado para asistir el proceso de análisis de la interacción mantenida por un grupo humano como parte de un mecanismo para el modelado de grupos. El análisis de la interacción se corresponde con uno de los tres mecanismos que han sido automatizados en el EVC para generar modelos tanto de grupo como de aprendiz. El artículo presenta también los resultados de la prueba piloto realizada para evaluar el entorno.

Palabras clave: Entorno Virtual Colaborativo, Entrenamiento de Grupos, Modelo de Grupo, Agente Virtual Pedagógico.

Abstract: In this paper a Collaborative Virtual Environment (CVE) developed to assist the analysis of interaction maintained by a human group, as part of a mechanism for modelling groups is described. This mechanism automated corresponds to one of three mechanisms that have been automated in order to generate models both human group as trainee. The article also presents the results of the pilot test conducted to assess the CVE.

Key words: Collaborative Virtual Environment, Group Model, Team Training, Pedagogical Virtual Agent.

1. Introducción

En el ámbito del Aprendizaje Colaborativo Asistido por Computadora (CSCL: *Computer-Supported Collaborative Learning*) los sistemas software que gestionan la interacción mantenida entre los estudiantes durante su proceso de aprendizaje, pueden ser clasificados en tres grupos: sistemas que simplemente reflejan información vinculada con las acciones, sistemas que monitorean y ofrecen un diagnóstico de la interacción mantenida, y sistemas que ofrecen guía o asistencia a los aprendices [1].

Independientemente de su funcionalidad, dichas aplicaciones son conocidas de manera genérica bajo el nombre de Entornos Virtuales Colaborativos (EVCs). Un EVC es definido como un sistema distribuido basado en computadora, que representa un espacio virtual, o conjunto de espacios, en el que las personas pueden interactuar con otras personas, con agentes virtuales, o con objetos virtuales inmersos en el entorno [2].

En el presente artículo se describen las prestaciones que ofrece el EVC desarrollado para asistir el Entrenamiento de Grupos Humanos, en particular, las prestaciones vinculadas con el análisis de la interacción mantenida por el grupo en una sesión de trabajo colaborativo; dicha actividad es utilizada para el proceso modelado del grupo humano.

2. Entrenamiento de Grupos Humanos

2.1. Antecedentes

Existe un creciente interés en las características y/o principios que están detrás de la formación de grupos de trabajo realmente efectivos [3]; algunos estudios empíricos han analizado, entre otros temas: las habilidades para grupos eficaces (p.e. habilidades para la tarea vs. habilidades para el comportamiento en equipo), el mejor tipo de retroalimentación (p.e. el resultado vs. el proceso), la fuente más adecuada (p.e. el instructor vs. el compañero), la estructura de actividad más eficaz (p.e. actividades individuales vs. actividades grupales).

En el ámbito de la Informática Educativa, la interacción promovida en un grupo de trabajo a través de herramientas software, ha resultado en las últimas dos décadas, un tema de investigación analizado desde diferentes perspectivas, tales como: el aprendizaje promovido a través de los grupos humanos que tratan de aprender algo juntos [4], la actividad generada en el espacio compartido de trabajo [5], el tipo de diálogo mantenido en entornos inteligentes [6], la forma de medir el proceso de la colaboración [7], por mencionar algunos.

2.2. Una Estrategia para Entrenamiento

La Estrategia para Entrenamiento de Grupos Humanos propuesta en [8] ha sido ampliada a cinco fases interrelacionadas (ver fig. 1.), con dicha estrategia el grupo a entrenarse realiza un proceso iterativo de auto-evaluación en torno a la ejecución de una tarea —de naturaleza socio técnica— propuesta.

Se pretende que con su administración los aprendices adquieran de manera simultánea: conocimientos, destrezas y habilidades, en aquellos dominios del aprendizaje sobre los que se oriente el entrenamiento.

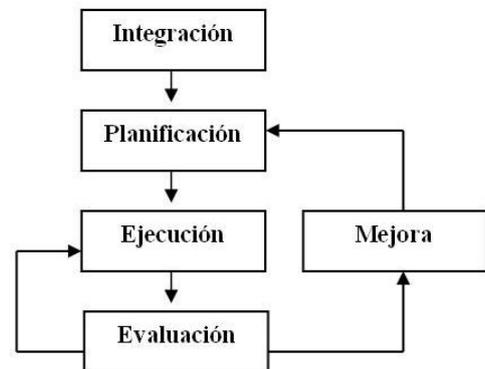


Figura 1. Fases de la Estrategia para el Entrenamiento de Grupos Humanos

El trabajo que se describe en el presente artículo, se circunscribe en la fase de *Planificación*, aunque es de destacar, que los modelos obtenidos en esta fase de la estrategia serán utilizados por un Agente Virtual Pedagógico en una fase siguiente (*Ejecución*).

La fase de Planificación añadida al esquema original de la estrategia, plantea como dinámica para el equipo humano la co-construcción de un plan de ejecución para una tarea que es descrita en la fase previa (*Integración*); dicha fase ha sido incluida en la estrategia de entrenamiento con un doble propósito:

- Refinar el esquema mental compartido del equipo humano en torno a la tarea por realizar, dando oportunidad a que sea el propio equipo quien construya en forma colaborativa el plan de ejecución.
- Obtener, mediante un mecanismo automatizado, un primer modelo tanto del grupo como de los aprendices.

2.3. El Entorno de Apoyo al Entrenamiento

Como parte del Modelo propuesto para administrar la Estrategia de Entrenamiento se ha desarrollado un EVC al que hemos denominado Entorno de Apoyo al Entrenamiento (EAE), dicho entorno incorpora prestaciones *ad hoc* para las cuatro fases en las que éste es utilizado: *Integración*, *Planificación*, *Evaluación* y *Mejora*. El modelo considera la utilización de un Entorno Virtual Inteligente —con tipología 3D— que sería utilizado para la ejercitación en la tarea durante la fase de *Ejecución*.

Un Mecanismo para el Análisis de la Interacción Mediante Entornos Virtuales

El EAE ha sido desarrollado con un ciclo de vida evolutivo e incremental dirigido por casos de uso, en donde los incrementos en requisitos se realizaron en ciclos iterativos, los cuales nos permitieron refinar aquellas características del producto no identificadas al inicio del proyecto. En una primera etapa de desarrollo, se atacaron los requisitos enmarcados en la funcionalidad prevista para la dinámica propuesta en las fases: Integración, Evaluación y Mejora. El EAE en su primera versión, fue utilizado y evaluado, tal y como se reporta en [9].

En el presente artículo, se describen las prestaciones que han sido incorporadas al entorno, de acuerdo con la dinámica mantenida por el grupo en la fase de *Planificación*; fundamentalmente se centran en tres componentes:

- Una Herramienta de Planificación
- Una Interfaz de Comunicación Basada en Oraciones de Apertura
- Mecanismos para el Modelado del Grupo Humano

La figura 2 ilustra una vista del EAE siendo utilizado en una sesión de Planificación, en dicha vista es posible identificar las secciones principales que identifican las prestaciones ofrecidas por el entorno: (A) una herramienta de planificación que incluye el editor de planes, (B) un visor 2D que presenta un gráfico de PERT vinculado con el plan que está siendo elaborado por el grupo, un constructor que genera y almacena el plan de ejecución de acuerdo con un esquema u ontología predefinida. La información vinculada con los objetos, lugares, individuos, así como las acciones que pueden ser ejecutadas por el grupo es mantenida en una Ontología independiente al entorno, la cual es debidamente interpretada por un módulo (*parser*) diseñado *ad hoc* en el EAE. La ventana de comunicación (C) permite identificar la interacción verbal mantenida durante esta fase, sin embargo, a pesar de que no es controlada por el tutor humano, es mediada a través de una interfaz semi-estructurada basada Oraciones de Apertura (D), las cuales se encuentran vinculadas con los cuatro grupos de habilidades colaborativas propuestas por Johnson y Johnson en [10].

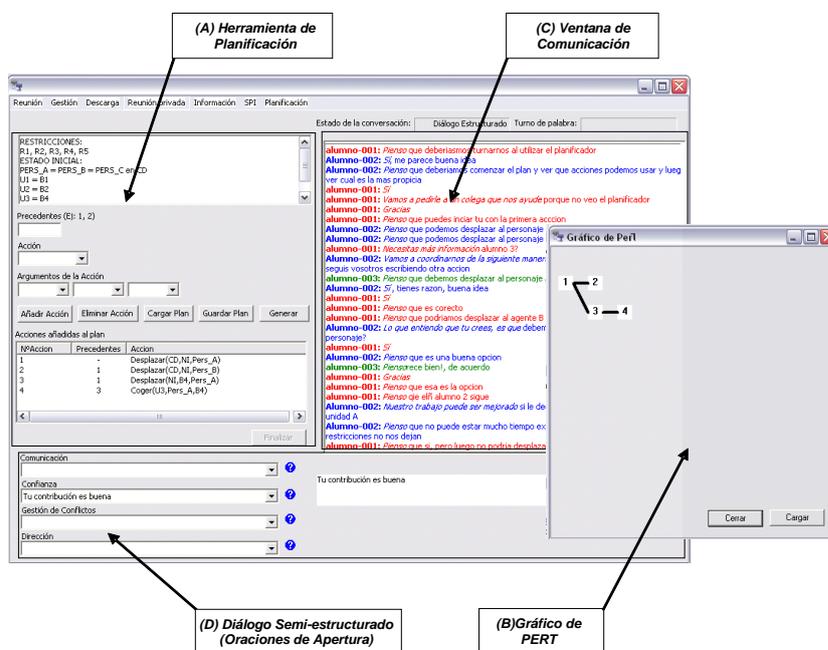


Figura 2. Vista del EVC (Fase de Planificación)

Los mecanismos que han sido automatizados para el proceso de modelado del grupo y aprendices, se corresponden con: el análisis de la composición del grupo y el análisis de la interacción mantenida por el grupo durante una sesión de trabajo; dichas prestaciones se encuentran disponibles para el tutor en las opciones del menú.

3. Análisis de la Interacción del Grupo

La interacción promovida al interior de un grupo humano durante su proceso de aprendizaje es un tema que ha sido afrontado con enfoques de muy diversa índole, en nuestro caso, nos hemos decantado por utilizar el Ciclo para la Gestión de la Colaboración (CGC) propuesto en [1] pues representa un marco de trabajo adecuado para orientar el proceso diseñado en nuestro modelo. En un artículo previo [11] ha sido descrita nuestra adaptación del CGC para la implementación de un mecanismo de modelado de grupos basado en el análisis de la interacción. En el presente artículo se describen las prestaciones que han sido incorporadas al EAE para automatizar tal mecanismo de modelado de grupos.

3.1. Co-construcción de Planes de Actuación

La Fase de Planificación —al igual que la de *Mejora*— plantea como dinámica para el grupo humano, el diseño de un plan de actuación para la tarea que es objeto del entrenamiento. La idea de que sea el propio grupo quién diseñe el plan de acción, se fundamenta en dos supuestos:

- La confianza que en los miembros del grupo pueden depositar en un plan, será mayor, si éste ha sido elaborado por ellos.
- El compromiso que los miembros del grupo asuman en la tarea de planificación, será mayor, si del producto de ésta, depende su desempeño en la siguiente fase (*Ejecución*).

Con base en dicha actividad, el Modelo propone que los integrantes del grupo humano, en una *reunión virtual*, se encarguen de la *co-construcción del plan de actuación*, utilizando para ello, una interfaz de diálogo semi-estructurada —a través de Oraciones de Apertura (OA)— así como una herramienta de planificación —área de trabajo compartida— mediante los cuales: propongan las acciones del plan, las discutan, lleguen a acuerdos, y finalmente generen el plan de acción para la tarea.

3.2. Interfaz de Comunicación a través de Oraciones de Apertura

En el EAE cada acto de comunicación tiene asignada una OA que indica la intención de interacción del aprendiz en la sesión de trabajo. La tabla 1 presenta uno de los cuatro conjuntos de OA utilizados para la interfaz semi-estructurada: las OA relacionadas con las habilidades de comunicación. Con este mecanismo de obtención de datos inspirado en [12] el EAE mantiene para cada aprendiz, un par de valores que representan el uso y frecuencia en el uso, de cada uno de los treinta y cinco atributos que caracterizan las habilidades colaborativas.

Sub-habilidad	Atributo	Oración de apertura
Remisión	Apertura	Pienso...
	Compleitud	Necesitas más información...
	Compartir información	Te paso ...
	Ofrecer realimentación	¿Entiendes ...
Recepción	Paráfrasis	Entonces, piensas que...
	Percepción	Lo que entiendo que tu crees, es que ...
Reconocimiento	Negociación	Creo que deseas...
	Positivo	Si
	Negativo	No
	Agradecimiento	Gracias

Tabla 1. Taxonomía de OA para las habilidades de comunicación

➤ *Individuales*: Son propios de cada aprendiz.

3.3. Indicadores para el Análisis de la Colaboración

De acuerdo con Dimitracopoulou, Dillenbourg y Hoppe, [13] los *indicadores* utilizados para el análisis de la interacción mantenida entre los integrantes de un grupo, indican información relacionada con la calidad de la actividad individual, el modo o calidad de la colaboración, el proceso o la calidad del producto colaborativo, etc. Esas variables tienen que ser interpretadas tomando en consideración la actividad de aprendizaje, el perfil de los participantes, el contexto de la interacción, entre otros aspectos.

En nuestro trabajo, los indicadores generados a partir del análisis de la interacción mediante OA, fueron diseñados para dar respuesta a una serie de interrogantes vinculadas con las habilidades colaborativas que el grupo y sus integrantes presentan:

- A. ¿Cuáles son las habilidades colaborativas — percibidas por su uso en una sesión de trabajo— que los aprendices poseen?
- B. ¿Cuáles son las habilidades colaborativas — percibidas por su uso en una sesión de trabajo— que el grupo posee?
- C. ¿Cuál es la participación de cada uno de los miembros del grupo en una sesión de trabajo?
- D. ¿Cuál es la participación del grupo en una sesión de trabajo?
- E. ¿Cómo han sido utilizadas las habilidades colaborativas que los aprendices poseen en una sesión de trabajo?
- F. ¿Cómo han sido utilizadas las habilidades colaborativas que el grupo posee en una sesión de trabajo?

Los indicadores —individuales y grupales— generados se listan a continuación:

CM:	Indicador de habilidades de comunicación individual (%).
MT:	Indicador de habilidades de gestión de la confianza individual (%).
MC:	Indicador de habilidades de gestión de conflictos individual (%).
LS:	Indicador de habilidades de liderazgo individual (%).
IP:	Indicador de participación individual (#).
CMU:	Indicador de habilidades de comunicación personal utilizados (%).
MTU:	Indicador de habilidades de gestión de la confianza personal utilizados (%).
MCU:	Indicador de habilidades de gestión de conflictos personal utilizados (%).
LSU:	Indicador de habilidades de liderazgo personal utilizados (%).

➤ *Grupales*: Representan información del grupo humano.

GCM:	Indicador de habilidades de comunicación grupal (%).
GMT:	Indicador de habilidades de gestión de la confianza grupal (%).
GMC:	Indicador de habilidades de gestión de conflictos grupal (%).
GLS:	Indicador de habilidades de liderazgo grupal (%).
IPT:	Indicador Total de Participación.
GCMU:	Indicador de habilidades de comunicación grupal utilizados (%).
GMTU:	Indicador de habilidades de gestión de la confianza grupal utilizados (%).
GMCU:	Indicador de habilidades de gestión de conflictos grupal utilizados (%).
GLSU:	Indicador de habilidades de liderazgo grupal utilizados (%).

La figura 3 ilustra el reporte generado por el EAE, después de una reunión virtual de trabajo, en la que el grupo humano —de acuerdo con la dinámica establecida para la fase de *Planificación*— ha

elaborado un plan de actuación para una tarea propuesta; el reporte generado incluye tanto los indicadores individuales, como los de equipo.

The screenshot shows a window titled 'Interaction Report' with a dropdown menu set to 'E-005 - Rescate de Unidades Radioactivas en la UPM - 1'. Below the menu, the task and plan are listed as 'Rescate de Unidades Radioactivas'. The session is identified as 'Session: 1'. The main data is presented in two tables. The first table lists individual trainees and their scores across ten categories (DM, CMU, LS, LSU, MT, MTU, MC, MDCU, IP). The second table lists the team 'E-005' and its scores across the same categories. Buttons for 'OK' and 'Cancel' are visible at the bottom.

Trainee	DM	CMU	LS	LSU	MT	MTU	MC	MDCU	IP
Alumno-009	0.7	0.7188	0.3	0.2813	0	0.0000	0	0.0000	32
Alumno-019	0.4	0.5652	0.2	0.3043	0.1	0.0870	0.1	0.0435	23
Alumno-027	0.6	0.8421	0.1	0.0263	0	0.0000	0.4	0.1316	38

Team	GCM	GCMU	GLS	GLSU	GMT	GMTU	GMC	GMCU	IPT
E-005	0.5667	0.7312	0.2000	0.1828	0.0333	0.0215	0.1667	0.0645	93

Figura 3. Reporte de la Interacción del Grupo generado por el EAE

4. Prueba Piloto con Estudiantes

Como parte de un estudio experimental realizado para evaluar la Estrategia de Entrenamiento en su Fase de *Planificación*, se realizó una prueba con estudiantes, siguiendo algunos de los principios que guían el desarrollo de una prueba piloto [14].

4.1. Objetivos

El primer objetivo para la prueba, consistió en validar el cumplimiento de aspectos de carácter técnico, así como relacionados con la interacción promovida por el entorno. Para obtener una valoración de dichos aspectos se diseñó un instrumento compuesto de ocho ítems de respuesta estructurada (ver tabla 2), y un noveno ítem de respuesta no estructurada en la que se solicitan comentarios para retroalimentación del entorno virtual. El instrumento recopila la percepción de los colaboradores sobre aspectos los siguientes aspectos:

- Usabilidad. Facilidad con la que un usuario hace uso del entorno con base en su nivel de preparación previo (ítems: 01 y 02).
- Eficacia. Capacidad del entorno para responder

a los requisitos para los que ha sido desarrollado (ítems: 03 y 04).

- Colaboración. Prestaciones para promover las habilidades colaborativas (ítems: 05-08).

El segundo objetivo de la prueba, consistió en identificar requisitos no considerados hasta el momento, y que pudiera resultar conveniente incorporar al entorno, para ello el instrumento incluyó una sección de respuestas no estructuradas.

4.2. Obtención de la Muestra

Se realizó una convocatoria entre alumnos de la Facultad de Informática de la UPM (Universidad Politécnica de Madrid) con la que se obtuvo un conjunto de veintinueve colaboradores. Algunas de las características demográficas de los alumnos que respondieron a la convocatoria fueron: género (hombres: 18, mujeres: 11), tipo de programa curricular (Licenciatura; 7, Master: 6, Doctorado: 16), zona geográfica de origen (España: 8, México: 7, América Central y Caribe: 6, América del Sur: 8).

Con los alumnos que respondieron a la convocatoria se integraron de manera aleatoria, ocho unidades experimentales —grupos de trabajo— de tres alumnos cada uno.

4.3. Procedimiento

Con la muestra —ocho equipos— que se obtuvo se realizaron sesiones de trabajo grupal organizadas de la siguiente manera:

- Reunión virtual (5'). El Tutor humano describe al grupo humano la situación problemática, así como la tarea a realizar (plan de ejecución). Se describen las restricciones para la tarea.
- Reunión virtual (50'-120'). El grupo humano, utilizando las prestaciones del EAE —comunicación mediante oraciones de apertura y herramienta de planificación— diseña un plan de acción para la tarea a realizar en el entorno real (o virtual).

Un Mecanismo para el Análisis de la Interacción Mediante Entornos Virtuales

#	Ítem	Opinión*	
		Favorable	Desfavorable
01	La complejidad del entorno se corresponde con mi preparación previa en aplicaciones informática.	92 %	8%
02	El esfuerzo requerido para aprender a utilizar el entorno ha sido mínimo.	96%	4%
03	Las prestaciones del entorno permiten realizar todas las acciones vinculadas con la elaboración del plan.	92%	8%
04	Las prestaciones del entorno permiten realizar todas las acciones relacionadas con la comunicación del grupo.	63%	33%
05	El nivel de comunicación mantenido por el grupo durante la reunión de trabajo, ha sido el adecuado.	88%	12%
06	Me he sentido a gusto, y respaldado por mis compañeros de equipo, durante la reunión de trabajo.	92%	8%
07	Los conflictos surgidos durante la reunión fueron resueltos satisfactoriamente.	92%	8%
08	El liderazgo mantenido en el grupo ha sido adecuado.	83%	17%

* El instrumento incluyó la alternativa "No aplica", que fue seleccionada en el ítem 04.

Tabla 2. Percepción de los Aprendices acerca del EAE

Debido a que el proceso de experimentación en el que se encontraba inmersa la prueba piloto, estaba basado en un escenario ficticio, el investigador sostuvo dos reuniones con los integrantes del equipo, una previa al experimento, y la segunda, una vez finalizada la sesión experimental. Estas reuniones consistieron en:

- Reunión previa (5'-15'). El Investigador describe la situación ficticia, así como el papel que los colaboradores desempeñarán en el experimento. Describe también las prestaciones vinculadas con la interacción y el trabajo de diseño, que son ofrecidas por el EAE.
- Reunión post-experimento (5'). El investigador administra una encuesta para obtener las impresiones de los miembros de cada grupo, en torno al trabajo grupal realizado en el EAE.

4.4. Resultados

Durante la sesión virtual de trabajo, el investigador pudo observar que cada uno de los integrantes del equipo mantuvo interacción constante con sus

compañeros, se pudo observar que los integrantes proponían, discutían, y finalmente llegaban a acuerdos respecto de las acciones que deberían de incluir al elabora el plan.

La figura 4 ilustra la dinámica mantenida por un grupo humano durante la sesión de trabajo.

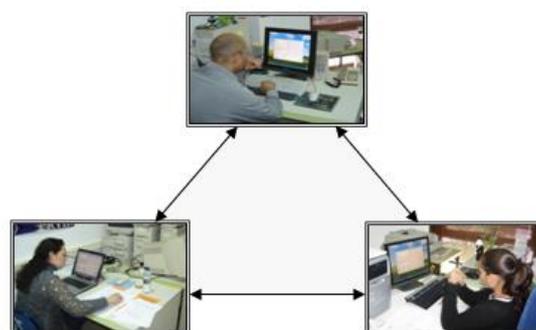


Figura 4. Grupo humano en una sesión virtual

Los comentarios vinculados a los factores:

usabilidad, eficiencia, y colaboración, obtenidos mediante la aplicación del instrumento, resultaron ser bastante favorables, tal y como se puede apreciar en la tabla 2; dichos resultados inducen a pensar que las condiciones de trabajo mediante el uso del EAE, no afectan de alguna manera la actividad propuesta para la fase de Planificación.

Cabe comentar que la percepción menos favorable en torno a la utilización de una interfaz de comunicación estructurada —restringida— mediante OA (ítem 4), es un tema que ha sido discutido en diversos ámbitos; no obstante sigue siendo un enfoque alternativo al de reconocimiento del lenguaje natural.

Las opiniones recopiladas con el ítem de respuesta no estructurada giraron en torno a la restricción de la comunicación mediada por OA, por lo que no se identificaron nuevos requisitos para el EAE.

5. Conclusiones

En este artículo se han descrito las prestaciones que ofrece un Entorno Virtual Colaborativo —al que se le ha denominado Entorno de Apoyo al Entrenamiento— implementado *ad hoc* para asistir una Estrategia para Entrenamiento de Grupos, en particular, se han descrito las prestaciones ofrecidas para modelar las habilidades colaborativas del grupo y aprendices mediante un mecanismo automatizado para el análisis de la interacción.

La dinámica de la actividad grupal propuesta se centra en la co-construcción de un plan de actuación durante una reunión de trabajo virtual.

La percepción favorable hacia el EAE en relación con las actividades propuestas para la fase de *Planificación*, aunada a la percepción favorable identificada en [9], otorgan mayor firmeza a nuestra propuesta [8] de asistir una *Estrategia para Entrenamiento de Grupos* mediante Entornos Virtuales.

Al momento de redactar el artículo, se viene trabajando en un prototipo del Entorno Virtual Inteligente en el que un Agente Virtual Pedagógico, con base en el conocimiento de la tarea, los modelos de grupo y aprendices —generados con el mecanismo automatizado descrito en este artículo— así como la

especificación de ciertos comportamientos acordes con la teoría de roles de equipo [15], dicho agente inteligente se integrará al grupo humano con una doble funcionalidad: ofrecer andamiaje [16] a los aprendices durante la ejecución de la tarea —promoviendo las habilidades colaborativas— y mejorar el desempeño del grupo —inspirado en la teoría de roles de equipo.

Reconocimientos

El trabajo ha sido parcialmente financiado por la Secretaría de Educación Pública (México) a través de una beca PROMEP (UADY-123). Se agradece también el apoyo brindado por el Ministerio de Educación y Ciencia (España) al proyecto ENVIRA (REF/TIN2006-15202-C03-01).

Referencias

1. Jermann, P., Soller, A., & Mühlenbrock, M.: From mirroring to guiding: A review of the state of the art technology for supporting collaborative learning. Proceedings of the first European Conference on Computer-Supported Collaborative Learning. Maastricht, The Netherlands. (2001) 324-331
2. Snowdon, D., Churchill, E.F. & Munro, A.J.: Collaborative Virtual Environments: Digital Spaces, Places for CSCW: An Introduction. In Churchill, E.F., Snowdon, D. & Munro, A.J. (Eds), Collaborative Virtual Environments: Digital Places and Spaces for Interaction. London: Springer Verlag. (2001) Chapter 1
3. Cannon-Bowers, J. & Salas, E.: Making Decisions Under Stress. Implications for individual and team training. Wash DC: APA. (1998)
4. Dillenbourg, P.: What do you mean by collaborative learning?. In P. Dillenbourg (Ed) Collaborative-learning: Cognitive and Computational Approaches. Oxford: Elsevier (1999)
5. Mühlenbrock, M.: Action-based collaboration analysis for group learning. Dissertations in AI Program, University of Duisburg, The Netherlands, IOS Press. (2001)
6. Soller, A.: Supporting Social Interaction in an Intelligent Collaborative Learning System. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 12(1). (2001) 40-62
7. Collazos, C.A., Guerrero, L.A., Pino, J.A., Renzi, S., Klobas, J., Ortega, M., Redondo, M.A. & Bravo, C.: Evaluating Collaborative Learning Process using System-based Measurement. Educational Technology & Society, 10(3). (2007) 257-274
8. Aguilar, R.A. y De Antonio, A.: Entrenamiento de Equipos: Una estrategia asistida por entornos virtuales inteligentes, IECOMunicaciones. Revista Iberoamericana de Informática Educativa. No. 2. (2005) 25-33
9. Aguilar, R.A., Ramírez, J. & Calleja, J.: Evaluating a Collaborative Virtual Environment for Integration of Human Teams. WSEAS Transactions on Advances in Engineering

Un Mecanismo para el Análisis de la Interacción Mediante Entornos Virtuales

- Education. Issue 3, Vol 2. (2005) 235-242
10. Johnson D., and Johnson, R.: Learning together and alone. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. (1991)
 11. Aguilar, R.A., De Antonio, A. & Imbert, R.: PANCHO needs Models of Collaborative Human Groups: A Mechanism for Teams Modelling. Research in Computing Science. Vol. 34. (2008) 299-310.
 12. McManus, M. & Aiken, R.: Monitoring computer-based problem solving. Journal of Artificial Intelligence in Education, 6(4), (1995) 307-336
 13. Dimitracopoulou, A., Dillenbourg, P. & Hoppe, U.: Interaction analysis supporting participants during technology-based collaborative activities. Workshop summary: CSCL SIG European Symposium, Lausanne, 7-9 October.(2004)
 14. Galvis A.: Ingeniería de Software Educativo. Ediciones Uniandes. (1992) 267-296.
 15. Belbin, M.: Team Roles at Work. Butterworth-Heinemann Ltd., London. (1993)
 16. Aguilar, R.A., Troncoso, B., de Antonio, A. & Imbert, R.: Intelligent Virtual Environments for Training: A Tutoring Approach. Research in Computing Science. 27 (2007) 169-179

Sistemas Basados en Casos & Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes

Natalia Martínez Sánchez¹, María Matilde García Lorenzo², Zoila Zenaida García Valdivia²

¹Universidad de las Ciencias Informáticas

natalia@uci.cu

²Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Departamento de Ciencia de la Computación

mmgarcia@uclv.edu.cu ; zgarcia@uclv.edu.cu

Resumen: No todos los paradigmas para crear sistemas basados en el conocimiento facilitan la concepción de un Sistema de Enseñanza-Aprendizaje Inteligente, donde lo fundamental para su desarrollo es determinar cómo representar el conocimiento requerido para sus módulos y a partir de dicho conocimiento realizar un diagnóstico del estudiante para que el sistema se adapte a sus características. En particular resulta claro que el desarrollo de un Sistema de Enseñanza-Aprendizaje Inteligente requiere, además de conocimiento en el dominio de aplicación, de conocimientos de programación e Inteligencia Artificial. En este artículo se expone un modelo general para ser implementado en una herramienta de autor que facilita a profesores no necesariamente expertos en el campo informático diseñar sus propios Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes en cualquier dominio de aplicación.

Palabras claves: Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes, Sistemas Basados en el Conocimiento, Sistemas Basados en Casos, Modelado del Estudiante.

Abstract: Not all paradigms to create knowledge-based systems facilitate the design of a Teaching-Learning System Intelligent, where the key to their development is determining how to represent the knowledge required for their modules and from this knowledge to diagnose the student to the system to suit your features.

In particular it is clear that the development of a Teaching-Learning System Intelligent also requires knowledge in the application domain, programming knowledge and Artificial Intelligence. This article presents a general model to be implemented in an authoring tool that provides teachers do not necessarily experts in the field of information design their own Teaching-Learning System Intelligent in any application domain.

Key words: Teaching-Learning Systems Intelligent, Knowledge Based Systems, Case Based Systems, Modeling Student.

1. Introducción

Características propias de la Enseñanza Asistida por Computadora en lo que se refiere a la consideración de las características individuales del estudiante, el diagnóstico de las causas de sus errores y al tratamiento de los mismos en el proceso de enseñanza-aprendizaje han conllevado a que los lenguajes y sistemas de autor estén evolucionando en conexión con los avances sobre Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes (SEAI),

denominados también Sistemas Tutoriales Inteligentes (Arias, Jiménez et al. 2007), (Ovalle and al. 2007), (Ricucci 2008), que incorporan técnicas de Inteligencia Artificial (IA) (Rich 1988), (Bello 2002) mejorando las posibilidades de interacción del alumno con los programas, el acceso a la información, la presentación de contenidos y el diseño de actividades de aprendizaje (Macias and Castell 2001).

Un SEAI lo componen tres módulos fundamentales. El Módulo del Estudiante que almacena la información relacionada con el alumno, a través de él se determina ¿Qué conoce el estudiante? y a partir de la respuesta a esta interrogante se infiere ¿Qué enseñar? y ¿Cómo enseñar?, informaciones representadas en el Módulo del Dominio y Módulo Pedagógico respectivamente.

Los sistemas basados en el conocimiento (Guida and Tasso 1994), (Bello 2002) constituyen técnicas de la IA válidas para enfrentar la construcción de SEAI dado por sus aspectos afines. Éstos utilizan conocimiento sobre un dominio específico. La solución que se obtiene es similar a la obtenida por una persona experimentada en el dominio del problema. Por su parte los SEAI utilizan la información almacenada sobre las características del estudiante para adaptar el proceso de enseñanza-aprendizaje del mismo a la materia a enseñar.

Una característica distintiva de los sistemas basados en el conocimiento es la separación del conocimiento (base de conocimiento) del método de solución del problema (máquina de inferencia).

La construcción de la base de conocimiento lleva implícito un arduo proceso de adquisición del conocimiento y es particular para cada sistema, por lo que será necesario construirla para cada aplicación. Sin embargo, la máquina de inferencia puede reusarse en la construcción de varios sistemas basados en el conocimiento siempre que el tipo de conocimiento y el tipo del razonamiento sea similar.

Diferentes tipos de conocimiento dan lugar a diferentes tipos de sistemas basados en el conocimiento, entre ellos los sistemas basados en reglas (Hand 1997), (Rich 1988), los sistemas basados en probabilidades (Pearl 1988), (Castillo, Gutiérrez et al. 1997), (Minka 2001), (Lerner 2002), los sistemas expertos conexionistas o redes expertas (Hilera and Martínez 1995) y los sistemas basados en casos (Kolodner 1992), (García and Bello 1997), (Gutiérrez and Bello 2003).

La máquina de inferencia es el método implementado que utiliza el conocimiento de la base para resolver los problemas del dominio. El tipo de conocimiento determina qué método de solución de problemas es posible utilizar.

No todos los paradigmas para crear sistemas basados en el conocimiento facilitan la concepción de un SEAI, donde lo fundamental para su desarrollo es determinar cómo representar el conocimiento

requerido para sus módulos y a partir de dicho conocimiento realizar un diagnóstico del estudiante para que el sistema se adapte a sus características. Sin embargo, similitudes de los SEAI y los Sistemas Basados en Casos son factores a estudiar para concebir todos los módulos de los SEAI y un diagnóstico adecuado del qué y cómo enseñar dependiendo del estudiante.

El objetivo general del presente trabajo es exponer un modelo que integra el Razonamiento Basado en Casos y los SEAI para facilitar a profesores, no necesariamente expertos en el campo informático, el desarrollo de este tipo de Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje en cualquier área del saber.

2. Referentes Teóricos de los Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes y los Sistemas Basados en el Conocimiento

2.1 Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes

Los SEAI son programas que portan conocimientos sobre cierta materia y cuyo propósito es transmitir este conocimiento a los alumnos mediante un proceso interactivo individualizado, intentando simular la forma en que un tutor o profesor guiaría al alumno en el proceso de enseñanza-aprendizaje (Shneiderman 2006), (Sierra 2006).

El término inteligente se refiere a la habilidad del sistema sobre qué enseñar, cuándo enseñar y cómo enseñar, simulando la actividad de un profesor real. Para lograrlo, un SEAI debe encontrar la información relevante sobre el proceso de aprendizaje de ese estudiante y aplicar el mejor medio de instrucción según sus necesidades individuales (Huapaya, Arona et al. 2005), (Trella 2006), (Jiménez and Ovalle 2008), (Gómez 2008).

La arquitectura descrita en (Ovalle and al. 2007) reúne los elementos más comúnmente encontrados en la literatura consultada y se resumen en el criterio que plantea que un SEAI está compuesto por un módulo del dominio, un módulo del alumno y el módulo pedagógico, que operan de forma interactiva y se comunican a través de un módulo central que suele denominarse módulo entorno, véase figura 1.

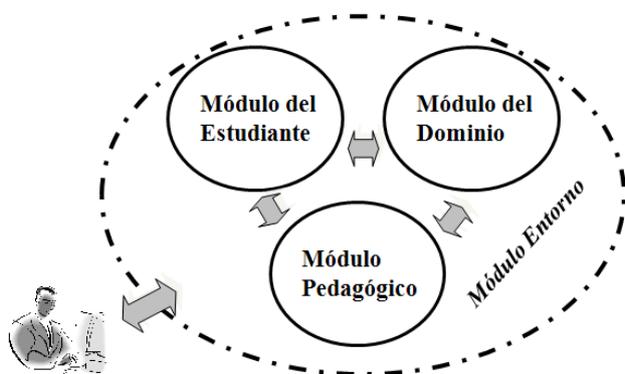


Figura 1. Arquitectura general de un SEAI

a. Módulo del Estudiante

El módulo del estudiante está presente en todos los trabajos en los que se describe la arquitectura básica de un SEAI. Generalmente solo se diferencian entre sí por las características a incluir para representar el modelo del estudiante.

Puede afirmarse que el modelo del estudiante es un problema de investigación que debe enfocarse desde todas sus aristas con el fin de obtener una representación de las características del estudiante completa y precisa. Algunos autores como se referencia a continuación toman en consideración características tales como: el estilo de aprendizaje, el nivel de conocimiento, la información personal o la combinación de algunas de ellas:

Estilos de aprendizaje: conjunto de características psicológicas, rasgos cognitivos, afectivos y fisiológicos que suelen expresarse conjuntamente cuando una persona debe enfrentar una situación de aprendizaje. Los rasgos cognitivos tienen que ver con la forma en que los estudiantes estructuran los contenidos, forman y utilizan conceptos, interpretan la información, resuelven los problemas, etc. Los rasgos afectivos se vinculan con las motivaciones y expectativas que influyen en el aprendizaje, mientras que los rasgos fisiológicos están relacionados con el biotipo y el biorritmo del estudiante (Carmona and Castillo 2007), (Duque 2007).

Nivel de conocimiento: características propias de cada estudiante referente al grado de conocimiento que posee acerca de conceptos, temas y asignaturas (González, Duque et al. 2008).

Información personal: datos como la edad, género, idioma, y otras informaciones que pueda ser de interés (Durán 2006), (Duque 2007).

b. Módulo del Dominio

El módulo del dominio, denominado también por muchos autores como módulo experto, proporciona los conocimientos del dominio. Satisface dos propósitos diferentes. En primer lugar, presentar la materia de la forma adecuada para que el alumno adquiera las habilidades y conceptos, lo que incluye la capacidad de generar preguntas, explicaciones, respuestas y tareas para el alumno. En segundo lugar, el módulo del dominio debe ser capaz de resolver los problemas generados, corregir las soluciones presentadas y aceptar aquellas soluciones válidas que han sido obtenidas por medios distintos.

En este módulo, el conocimiento a ser enseñado por el SEAI debe organizarse pedagógicamente para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje (Ming and Quek 2007).

c. Módulo Pedagógico

Decide qué, cómo y cuándo enseñar los contenidos del tutor, adaptando sus decisiones pedagógicas a las necesidades del estudiante (Jiménez and Ovalle 2004). Algunos autores le denominan módulo tutor, ya que es el encargado de comparar las características de los estudiantes con el contenido a enseñar y elegir la mejor forma de tomar las decisiones pedagógicas oportunas, adaptándose en cada momento al estudiante.

d. Módulo Entorno

El módulo entorno gestiona la interacción de las otras componentes del sistema y controla la interfaz persona-computadora.

Especifica y da soporte a las actividades del estudiante y a los métodos que se usan para realizar dichas actividades. Los entornos deben ser fáciles de utilizar y atractivos, de forma que el alumno pierda el mínimo tiempo posible en aprender a utilizar el entorno y pueda centrar toda su atención en el proceso de enseñanza-aprendizaje del contenido.

La necesidad de crear ambientes computacionales capaces de mantener el interés de sus usuarios, implica el desarrollo de interfaces personalizadas para ofrecer un servicio que las decisiones acertadas en la interacción con el usuario permita un trato individualizado al usuario en particular, adaptando su interacción con el sistema a sus necesidades e intereses personales (Medina, Acosta et al. 2007).

2.2 Modelado del estudiante en los SEAI

El modelado del alumno es un problema central en el diseño y desarrollo de los SEAI. En efecto, si la característica que distingue a los SEAI de los Sistema de Enseñanza-Aprendizaje es su capacidad de adaptación al alumno; entonces un SEAI debe ser capaz de determinar con la mayor precisión y rapidez posible cuál es el estado cognitivo y afectivo-motivacional del estudiante; para poder personalizar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

El problema del modelado del alumno está en seleccionar la estructura de datos para representar toda la información relativa al alumno y elegir el procedimiento que se utiliza para realizar el diagnóstico. Evidentemente ambas componentes están estrechamente relacionadas, y por tanto se diseñan y desarrollan simultáneamente.

Técnicas de Inteligencia Artificial en el desarrollo de los SEAI

La IA, es una rama de la Ciencia de la Computación dedicada a la creación de hardware y software que intenta producir resultados similares a los expresados por los humanos. Le conciernen dos ideas básicas: la primera es que esta involucra el estudio de los procesos del pensamiento de los humanos y la segunda que trata de representar estos procesos en una computadora. Conceptualizar estas ideas básicas condujo al desarrollo de los llamados sistemas basados en el conocimiento.

Un sistema basado en el conocimiento se puede definir como: "un sistema computacional capaz de soportar la representación explícita del conocimiento de un dominio específico y de explotarlo a través de los mecanismos apropiados de razonamiento para proporcionar un comportamiento de alto nivel en la resolución de problemas" (Guida and Tasso 1994).

En otras palabras los sistemas basados en el conocimiento tratan con problemas poco estructurados en los que se pueden encontrar requisitos subjetivos, entradas inconsistentes, incompletas o con incertidumbre y que no pueden ser resueltos aplicando los algoritmos clásicos (Alonso, Gallego et al. 1994). Además se caracterizan por tener un revolving de problemas capaz de manejar conocimiento específico del dominio de aplicación siendo independiente un módulo del otro.

Por esta razón los sistemas basados en el conocimiento se componen de 3 módulos

fundamentales: la base de conocimiento, la máquina de inferencia y la interfaz usuario.

La base de conocimiento es la componente más importante y la máquina de inferencia es el intérprete del conocimiento almacenado en la base de conocimiento (Bello 2002). El conocimiento puede almacenarse de diferentes formas entre las que se encuentran: símbolos (reglas de producción, marcos, redes semánticas, etc.), probabilidades o frecuencias, pesos de una red neuronal, casos o ejemplos de problemas del dominio.

Diferentes formas de conocimiento y diferentes mecanismos de inferencias en los sistemas basados en el conocimiento propiciaron el desarrollo de diferentes tipos de sistemas basados en el conocimiento, entre ellos los sistemas basados en reglas, los sistemas basados en probabilidades, sistemas expertos conexionistas o redes expertas y los sistemas basados en casos.

2.3 El Razonamiento Basado en Casos

El Razonamiento Basado en Casos (RBC) (López de Mántaras 2005), es un enfoque que aborda nuevos problemas tomando como referencia problemas similares resueltos en el pasado. De modo que problemas similares tienen soluciones similares, y la similitud juega un rol esencial (Rodríguez and García 2007). Sus componentes fundamentales son la base de casos, el módulo de recuperación de casos y el módulo de adaptación de las soluciones, véase figura 2.

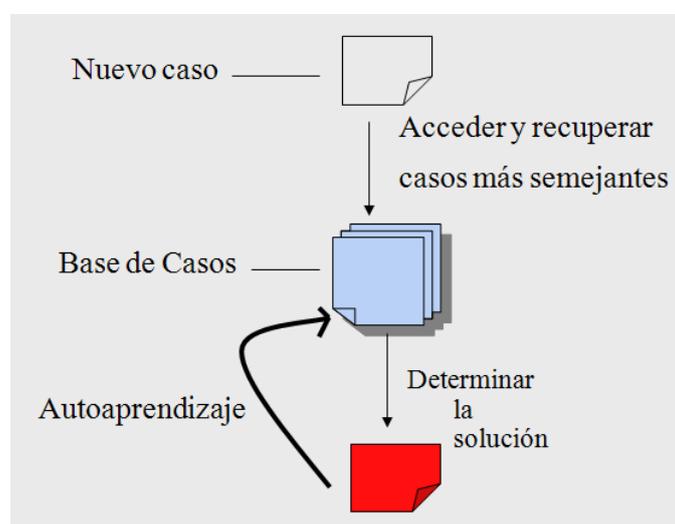


Figura 2. Ciclo de vida de los Sistemas Basados en Casos.

a. Base de Casos (BC)

La BC contiene las experiencias, ejemplos o casos a partir de los cuales el sistema hace sus inferencias. Esta base puede ser generada a partir de casos o ejemplos resultantes del trabajo de expertos humanos o por un procedimiento automático o semiautomático que construye los casos desde datos existentes registrados, por ejemplo, en una base de datos.

b. Módulo de Recuperación

En este módulo se recuperan de la Base de Casos los casos más semejantes al problema.

No existe una medida de semejanza única, general, para cualquier dominio, de ahí que la eficiencia del sistema radica en la función de semejanza que se defina.

c. Módulo de Adaptación

Después de la determinación de los casos más semejantes, las soluciones contenidas en dichos casos pueden usarse directamente como solución al nuevo problema, pero comúnmente necesitan ser modificadas. En (Kolodner 1993), (Bonzano 1998) y (Mitra and Basak 2005) aparecen métodos y reglas de adaptación para realizar dicha modificación.

3. Los Sistemas Basados en Casos una perspectiva para los SEAI

La Ingeniería del Conocimiento (IC) surge como consecuencia de la necesidad de establecer principios metodológicos y científicos que permitan desarrollar sistemas basados en el conocimiento a partir de los fundamentos de la informática en general y de la inteligencia computacional en particular. En este aspecto puede vérsela como la especialización de Ingeniería de Software en su aplicación al desarrollo de Sistemas Inteligentes.

La IC se enfoca al desarrollo de sistemas basados en el conocimiento, destacándose la necesidad de la adquisición del conocimiento así como su especificación, verificación, validación, diseño e implementación en sistemas informáticos o lenguajes apropiados para la construcción de bases de conocimiento para la toma de decisiones.

Para la creación de la base de conocimiento es necesario realizar un arduo proceso de revisión del conocimiento público existente, así como el conocimiento que poseen los expertos en el dominio, conocimiento privado.

La envergadura del proceso de adquisición del conocimiento depende del tipo de conocimiento. En los sistemas basados en reglas se desarrolla un proceso complejo y prolongado pues la extracción se refiere a la formalización de reglas y el pensamiento humano no siempre está regido conscientemente por las reglas de la lógica; en ocasiones es básicamente un procesamiento de información recuperada con el tiempo.

En los sistemas basados en probabilidades la adquisición del conocimiento consiste en coleccionar muestras y realizar un procesamiento estadístico que produzca las probabilidades o frecuencias que forman la base de conocimiento. No son factibles para todo tipo de dominio, pues se dificulta construir las redes con ayuda de expertos humanos cuando existen carencias de conocimiento. No son viables para explicar el razonamiento, ya que los métodos y modelos que utiliza están aún lejos de ofrecer explicaciones comprensibles.

En las redes expertas la adquisición del conocimiento incluye la selección de los ejemplos, el diseño de su topología y el entrenamiento de la red para hallar el conjunto de pesos. Facilitan el trabajo con información incompleta y brindan algoritmos poderosos de aprendizaje para crear la base de conocimiento; pero requieren de muchos ejemplos y son cajas negras que no explican como la solución se alcanza.

En los sistemas basados en casos la adquisición del conocimiento se reduce a la selección de un conjunto de ejemplos o casos resueltos y su organización en la base de casos. Argumenta una solución mediante los casos que son relevantes al nuevo problema.

Cada caso es la experiencia anterior almacenada. Su dificultad radica en la definición adecuada de la función de semejanza, al no existir una función de semejanza general apropiada para cualquier problema.

Ventajas y Desventajas de los Sistemas Basados en Casos

El enfoque que utilizan los Sistemas Basado en Casos (SBC) para la adquisición de conocimiento es una de las ventajas que se le acreditan a este tipo de sistemas; pues razonan desde episodios específicos, lo cual evita el problema de descomponer el conocimiento del dominio y generalizarlo en reglas.

Otras de las ventajas de los SBC están fundamentadas; en la flexibilidad para representar el conocimiento a través de los casos, la organización de

la BC y de las estrategias de recuperación y adaptación de los casos y que el usuario puede ser capaz de agregar nuevos casos a la BC sin la intervención experta.

Ventajas lo son también, el reuso de las soluciones previas al resolver un problema, y el almacenar casos que resultó un fracaso, lo que permite advertir sobre problemas potenciales a evitar. Así como también poder fundamentar las soluciones derivadas a partir de casos reales.

Las limitantes de los SBC están en la definición de la función de semejanza y en lo difícil que resulta encontrar una estructura apropiada para describir el contenido de un caso y decidir cómo la memoria de casos debe ser organizada e indexada para un almacenamiento, recuperación y reuso efectivo.

4. Modelo para diseñar SEAI utilizando el Razonamiento Basado en Casos

La figura 3 muestra un esquema de un SEAI diseñado como un Sistema Basado en Casos (Martínez, García et al. 2009).

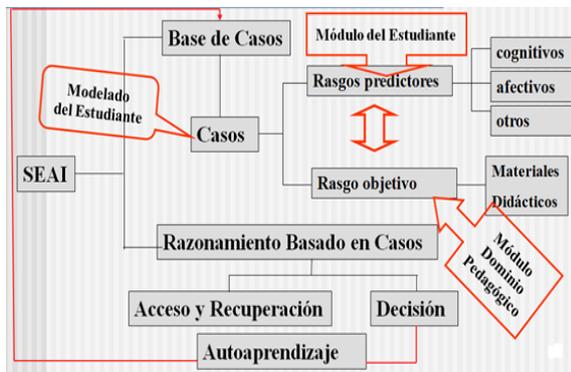


Figura 3. Modelo para diseñar SEAI utilizando el Razonamiento Basado en Casos

Los casos en la BC representan el estado del conocimiento y comportamiento del estudiante, así como el entrenador o material didáctico más adecuado. Cada caso es un ejemplo de modelado de estudiante, el cual se divide en modelo del estudiante (rasgos predictores), materiales didácticos más adecuados para ese modelo (rasgo objetivo) (figura 4).

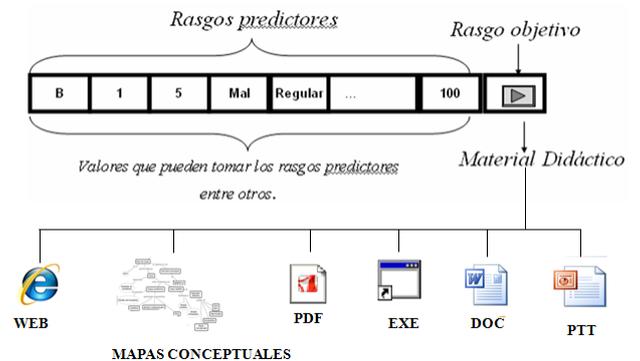


Figura 4. Un caso & modelado del estudiante

Dado un nuevo estudiante se diagnostica usando el paradigma del RBC los entrenadores sugeridos para el mismo, adaptados a sus conocimientos y comportamientos.

Los rasgos predictores reflejan el estado cognitivo, el estado afectivo y otros elementos de interés sobre el estudiante. No se limita el número de rasgos para caracterizar el estado cognitivo y afectivo del estudiante. Cada rasgo tiene un valor asociado y una medida de certeza. El rasgo objetivo es un rasgo multievaluado, los valores del mismo se corresponden con los materiales didácticos propuestos para ese modelo de estudiante, sugiriendo un orden.

Los rasgos predictores, contienen los datos de entrada, o sea la información a partir de la cual el sistema infiere el estado del estudiante, ya sea cognitivo, afectivo-motivacional u otras características que se consideren importantes a tener en cuenta en el SEAI que se desarrolla.

El dominio del rasgo objetivo es el conjunto de entrenadores diseñados por los profesores que se adecuan a las características de los estudiantes. La propuesta de estos entrenadores puede estar dada usando criterios de expertos o utilizando algún método de clasificación no supervisada para determinar el número de grupos en que están asociados los modelos de estudiantes descritos en la base de casos y proponer para cada grupo un conjunto de entrenadores.

5. Realización Computacional del Modelo propuesto

El modelo descrito constituye el fundamento para el diseño y la implementación de la herramienta

computacional HESEI (Herramienta para elaborar SEAI).

Como filosofía de trabajo de este software se definen dos fases bien delimitadas: diseño del SEAI y trabajo con la herramienta computacional HESEI.

La fase de diseño del SEAI se refiere al trabajo metodológico implícito o ingeniería del conocimiento en la elaboración de este. En esta fase se selecciona el tema, se estructura el mismo, se definen los objetivos que se persiguen, así como los estilos de aprendizaje, particularidades en las que se basa la caracterización de los estudiantes, los entrenadores o materiales adecuados a cada modelo de estudiante, entre otros.

En la fase anterior quedó concebida la base de casos estructuralmente, sin embargo es en la fase de trabajo donde se edita la BC y por tanto quedan completados los rasgos predictores que caracterizan modelos de estudiante y el rasgo objetivo que describe el material didáctico necesario a ese modelo. Por tanto un caso, representa un modelado del estudiante sin prever otros factores.

Con estas dos fases se logra eliminar el intermediario (ingeniero del conocimiento) entre el experto y el sistema que se desea construir. Esto facilita al experto en la materia representar a plenitud su saber humano, lo que resulta un trabajo muy engorroso para un ingeniero del conocimiento debido a la disimilitud de materias y a la complejidad de poder asimilar la experiencia humana.

5.1 Guía de orientación para la IC en el diseño de SEAI utilizando HESEI

El paso previo a la utilización de HESEI, está determinado por tres etapas fundamentales, estrechamente relacionadas y con un orden de precedencia establecido, que facilitan definir los modelos de estudiantes y materiales didácticos que se incorporarán posteriormente a este software.

Se sugiere transitar por el siguiente conjunto de etapas:

Etapa I: Diagnóstico del contexto.

Objetivo: Justificar la necesidad de elaborar el SEAI.

Aspectos a examinar:

1. Análisis de las necesidades educativas.
2. Disponibilidad de recursos tecnológicos.
3. Implicación de la introducción de un SEAI en el proceso de enseñanza-aprendizaje.
4. Estudio de los aspectos teóricos y metodológicos de la asignatura.

5. Determinación de los objetivos, contenidos, sistema de habilidades, entre otros, de la asignatura según plan de estudio de la carrera.

Etapa II: Definir la estructura del modelado del estudiante.

Objetivo: Decidir qué enseñar y cómo enseñar según la caracterización individual del estudiante

Aspectos a examinar:

1. Determinación de los aspectos cognitivos (tópicos). Organización de los tópicos según precedencia y nivel de complejidad. Estos deben avalarse por expertos en el dominio del conocimiento en el que se elabora el SEAI
2. Definición de los estilos de aprendizajes²⁶ que se tendrán en cuenta.
3. Determinación de los aspectos afectivos-motivacionales que se introducirán.
4. Determinación de otros aspectos a incluir (datos personales, edad, género, idioma, datos de interés, otros).
5. Determinación de los modelados de estudiantes a utilizar.

Con este paso se concretan ejemplos de casos.

Etapa III. Edición del modelado del estudiante.

Objetivo: Obtener un prototipo no computarizado del sistema, para editarlo en la herramienta computacional HESEI.

Aspectos a examinar:

1. Edición de rasgos cognitivos:

Para cada tópico definido en la etapa anterior describir:

- nombre
- definir las medidas cualitativas o cuantitativas a utilizar para evaluar cada tópico
- confección de los módulos de preguntas
 - ✓ número de preguntas a realizar (se sugiere que no excedan de cinco)
 - ✓ orden en que se van a realizar las preguntas (se sugiere complejidad incremental)
 - ✓ para cada pregunta definir el tipo de evaluación (1/0; 2/3/4/5; B/R/M; etc.)

- ✓ para cada pregunta definir el formato (tipo) de la pregunta (selección
 - ✓ múltiple, relacionar columnas, verdadero o falso, marcar la respuesta correcta, etc.)
 - ✓ elaborar las preguntas definidas atendiendo a las características decididas anteriormente.
2. Edición de rasgos afectivos-motivacionales. Se recomienda auxiliarse de cuestionarios diseñados por especialistas en procesos afectivos-motivacionales, capaces de extraer esa información de un individuo (León et al. 2008b).
 3. Edición de otros rasgos tales como: edad, resultado de una asignatura que antecede el contenido a enseñar, procedencia escolar, entre otros. Se obtienen estos datos a través de bases de datos o en interacción con los estudiantes.
 4. Recuperación de materiales didácticos relacionados con el dominio del SEAI.
 - a. definir el número de materiales didácticos a elaborar por cada modelo inicial del estudiante.
 - b. elaborar o recuperar materiales didácticos con las estrategias pedagógicas adecuadas para adaptarse a los modelos de estudiantes (se realiza en base al resultado de los tópicos evaluados).
 - c. decidir los medios de enseñanza para mostrar la información a utilizar en cada material didáctico (mapas conceptuales, documentos en Word, documentos en pdf, páginas Web, presentaciones en PowerPoint, entre otras).

Transitado los aspectos a examinar de cada etapa, desde la visión del ingeniero del conocimiento se ha definido la BC, describiendo los casos a través de los rasgos predictores y objetivo, su dominio y las funciones de comparación asociadas. Desde la visión del usuario final se define el modelo del estudiante y

los tutoriales que se adecuan a cada modelo de estudiante previsto.

5.2 Consideraciones sobre la influencia de los aspectos afectivosmotivacionales en el proceso de enseñanza-aprendizaje

Consecuente con el creciente interés en estudiar la influencia de los aspectos cognitivos y los afectivo-motivacionales en el proceso de enseñanza-aprendizaje se orienta a los usuarios del modelo que se propone, en la necesidad de introducir rasgos afectivos-motivacionales en los procesos de enseñanza-aprendizaje; sin pretender implementar SEAI emocionalmente activos, ni formular métodos para obtener información sobre aspectos afectivos-motivacionales.

El concepto de estilo de aprendizaje resulta útil para entender la forma en que los estudiantes se relacionan con las materias y logran comprenderlas o no. Respecto a la clasificación de los estilos de aprendizaje, existe una gama versátil de clasificaciones de los sujetos respecto a sus formas preferidas de aprender, sustentadas básicamente en la consideración de dos criterios fundamentales: las formas de percibir la información y las formas de procesarla (Cabrera y Fariñas 1997). En (Grinder 1991) se definen tres estilos básicos de aprendizaje: visual, auditivo y kinestésico. En (Kolb 1976) basado en las características propias de cada tipo de estudiante lo define como: activo, teórico, reflexivo y pragmático; en (Hupaya and Lizarralde 2009) se definen como: participativo/esquivo, colaborativo/competitivo e Independiente / dependiente.

En aras de superar la visión eminentemente cognitivista que prevalece entre las diferentes teorías de los estilos de aprendizaje en (Cabrera and Fariñas 1997) se propone conceptualizar los estilos desde un enfoque más holístico, asumiendo estos no solo en relación con las formas preferidas de las personas para percibir y procesar la información, sino también de orientarse en el cumplimiento de sus metas y en la comunicación interpersonal: visualverbal auditivo, global-analítico, planificado-espontáneo y cooperativo-individual.

5.3 Aspectos sobre la filosofía de trabajo con HESEI.

La herramienta computacional HESEI tiene dos actores fundamentales: profesor y estudiante.

Las funcionalidades del profesor se corresponden con la obtención de un prototipo computarizado del diseño realizado en la etapa 3 de la guía de orientación a la IC y las correspondientes al estudiante se fundamentan en el diagnóstico del conocimiento del estudiante implementando el RBC como método de solución de problema.

5.4 Aspectos de la implementación computacional de HESEI.

El sistema se desarrolla en Borland Delphi 7.0. Su ejecutable ocupa 400 KB y requiere, que junto con este, se encuentre los ficheros txt elaborados con el sistema correspondientes a las bases de casos donde está almacenada la información sobre los SEAI y los ficheros asociados a los materiales didácticos que serán utilizados, según se observa en la figura 5. Es posible ejecutar HESEI en cualquier versión de Windows.

El software HESEI adicionalmente se provee de otras implementaciones: Un Sistema para la aplicación de Test (SAT), para la captación del estado afectivo-motivacional a través de test psicométricos usando procesamiento del lenguaje natural y un módulo para la modelación de la evaluación de preguntas utilizando la lógica difusa (León, Martínez et al. 2007).

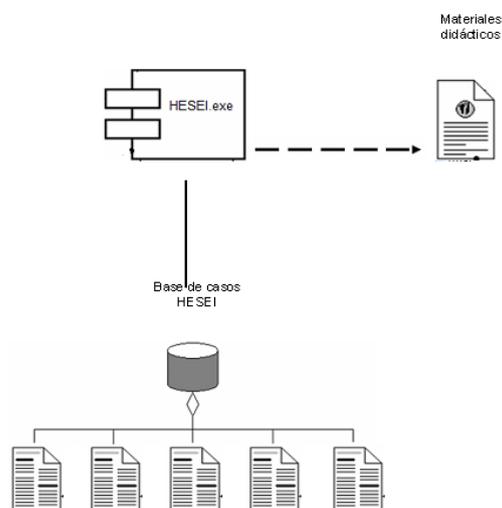


Figura 5. Diagrama de componentes de HESEI.

La herramienta computacional ofrece la posibilidad de elegir el estilo de ventana de la aplicación a través de la componente Vclskin, disponible para Delphi, por lo que el usuario puede predeterminedir la configuración que le acompañe en su interacción con el sistema.

Para esta finalidad se cuenta con una colección de ficheros de configuración de estilos llamados skins, disponibles en Internet, de los cuales puede seleccionarse el deseado según el interés del software y a quién esté destinado.

Si el usuario desea incorporar algún nuevo estilo de su preferencia, solo debe copiarlo en la carpeta que contiene los demás estilos y posteriormente seleccionarlo para que la herramienta tome esa configuración en su interfaz visual.

El trabajo con la herramienta computacional HESEI se ha extendido a diferentes centros de educación e investigación. Desarrollándose SEAI en áreas como: Humedales (Laboratorio de Propagación Masiva de Plantas del Instituto de Biotecnología de las Plantas, de la UCLV), Teoría de Grafos, Análisis y Diseño de Sistemas y Estructura de Datos (Facultad de Matemática Física y Computación de la UCLV), Contabilidad y Finanzas (SUM de Santa Clara) y Carreteras (Facultad de Construcciones de la UCLV). Las aplicaciones anteriores se encuentran en diferentes estados de desarrollo.

6. Análisis de la conformidad de los usuarios con el modelo.

La evaluación del modelo y su implementación computacional se realiza teniendo en consideración las facilidades que brinda al usuario el transitar por la guía de orientación a la IC para desarrollar un SEAI. Se seleccionó una muestra de expertos (Sampieri and al. 1998) y se desarrolló una encuesta para recolectar los datos que permitieron evaluar las facilidades que brinda la guía de orientación a la IC para el desarrollo de los SEAI.

Para evaluar la factibilidad de la guía de orientación a la IC en función de los criterios de los usuarios se definieron nueve variables que aparecen formalizadas en la Tabla 3.1. Se utiliza una escala valorativa (escalonamiento tipo Likert) definiéndose los siguientes valores: 5: muchísima, 4: mucha, 3: regular, 2: un poco y 1: casi nada.

Tabla 1. Descripción de las variables utilizadas en la investigación.

Variables	Descripción de las variables.
V1	Comodidad al transitar por las etapas establecidas en la guía metodológica.
V2	Correspondencia entre la guía metodológica para el diseño de materiales educativos utilizando HESEI y su habitual metodología de trabajo para elaborar este tipo de materiales.
V3	Probabilidad de obtener un Sistema de Enseñanza - Aprendizaje Inteligente a su gusto siguiendo la guía metodológica.
V4	Factibilidad de la utilización de la guía metodológica para la elaboración de Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes en cualquier dominio de aplicación.
V5	Utilidad de la selección de los tópicos para describir el estado cognitivo del estudiante.
V6	Importancia de la sugerencia de introducir elementos afectivos-motivacionales en la descripción del modelo del estudiante.
V7	Validez teórica de la guía metodológica para elaborar Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes con la herramienta HESEI.
V8	Validez práctica de la guía metodológica para elaborar Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes con la herramienta HESEI.
V9	Satisfacción al terminar de transitar por todos los pasos de la guía metodológica.

Las variables fueron ponderadas considerando la frecuencia de utilización de la guía de orientación a la IC (frecuentemente, algunas veces o casi nunca) y se realizó el análisis descriptivo de los datos utilizando el paquete estadístico SPSS. Estos resultados aparecen resumidos en porcentajes en la Tabla 2.

Los expertos manifestaron sentirse cómodos al seguir los pasos de la guía de orientación a la IC para el desarrollo de un SEAI. 79.4% reflejó sentir muchísima comodidad y 20.6% mucha, lo que corrobora la correspondencia que existe entre la guía de orientación a la IC y la habitual metodología de trabajo de los usuarios para elaborar materiales diferenciados para el estudio independiente de sus estudiantes.

El cálculo de la escala final que dio como resultado **4.63** (en una escala de 1 a 5), demuestra el grado de aceptación de la guía de orientación a la IC por parte de sus usuarios.

Tabla 2. Resultados en % de la encuesta aplicada

Escala valorativa	Variables								
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9
<i>Casi nada</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Un poco</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Regular</i>	0	0	0	0	0	11.8	8.8	8.8	0
<i>Mucha</i>	20.6	52.9	38.2	8.8	38.2	38.2	32.4	47.1	8.8
<i>Muchísima</i>	79.4	47.1	61.8	91.2	61.8	50.0	58.8	44.1	91.2

6.1 Evaluación del efecto de la guía de orientación a la IC para concebir SEAI con un enfoque basado en casos.

Para este estudio se aplicó la técnica multivariada de componentes principales con el objetivo de encontrar grupos homogéneos de nuevas variables o factores e interpretarlas (Marques de Sá 2007).

Primeramente se realizó el análisis de la correlación que existe entre cada una de las variables de la encuesta (Tabla 1).

Para determinar si el análisis de correlación resulta adecuado, se aplicó el test de esfericidad de Bartlett, (Marques de Sá 2007). Su resultado fue significativo, lo que demuestra su correcta utilización.

La Tabla 3 ilustra la relación que se establece entre las variables y los factores determinados.

El factor 1 se corresponde con la factibilidad del uso del RBC pues muestra correlaciones altas con las variables V1, V2 y V5, que reflejan la naturalidad de la guía de orientación a la IC en correspondencia con la metodología habitual de trabajo de los docentes, así como los aspectos a tener en cuenta para realizar un trabajo personalizado con los estudiantes.

El factor 2, por su parte, puede interpretarse como la utilidad de la guía de orientación a la IC para elaborar el modelo del estudiante pues muestra correlaciones más elevadas con las variables V5, V6 y V8, fundamentado en la orientación práctica que brinda la guía de orientación a la IC acerca de cómo captar el estado cognitivo y afectivo de los estudiantes.

Tabla 3: Matriz de las componentes rotadas.

Variables	Factores			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
V1	.717			
V2	.801			
V3				.936
V4	-.369		.802	
V5	-.682	.627		
V6		.687	.502	
V7	-.350		-.724	
V8		.912		
V9	-.464	.568	-.362	.425

Al factor 3 se relaciona la factibilidad y la validez teórica de la guía propuesta, tributan en mayor medida las variables V4 y V7.

El último factor mide las expectativas del usuario mediante las variables V3 y V9, que correlacionan los intereses del usuario cuando comienza la elaboración del sistema y la obtención de un SEAI final a su medida.

Dichos factores constituyen conceptos subyacentes no observables directamente, pero que tienen una interpretación clara en función del problema, como se mostró anteriormente.

7. Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten concluir que:

1. Un modelo que integre el Razonamiento Basado en Casos y los SEAI favorece la implementación de las componentes fundamentales de este tipo de Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje en cualquier área del saber. En cada caso se describe el modelo del estudiante y su modelado. El RBC determina la decisión a tomar para lograr el aprendizaje interactivo-individualizado atendiendo a las características del estudiante sobre la base de una selección adecuada de las mismas.
2. La utilización de una función de semejanza adaptada al modelo del estudiante permite la recuperación de los k modelos de estudiante más similares a la descripción del estudiante presentado.

Se ponderan, atendiendo a su importancia, sus rasgos cognitivos y afectivos-motivacionales considerando a su vez la certeza de los valores.

3. La implementación computacional de la herramienta de autor HESEI facilita el desarrollo de SEAI en aplicaciones específicas a la medida del usuario final, fundamentándose esta afirmación en la satisfacción mostrada por los usuarios al trabajar con la herramienta, reflejada en las evaluaciones obtenidas para medir el grado de usabilidad de la misma.

4. La guía de orientación a la IC definida, orienta a los docentes en el proceso de ingeniería del conocimiento implícito en el desarrollo de un SEAI, con la herramienta computacional HESEI, dado por su naturalidad y correspondencia con la habitual metodología de trabajo de los profesores.

Referencias

- Alonso, C. M., D. J. Gallego, et al. (1994). "Los Estilos de Aprendizaje: Procedimientos de Diagnóstico y Mejora." Bilbao: Ediciones Mensajero.
- Arias, F. J., J. Jiménez, et al. (2007). "Una Aproximación Metodológica para la Construcción de Sistemas Tutoriales Adaptativos MultiAgente con Énfasis en el Modelo Pedagógico." Revista Avances en Sistemas e Informática, Vol.4 No. 3, Medellín, 78, ISSN 16577663.
- Bello, R. (2002). "Aplicaciones de la Inteligencia Artificial." Ediciones de la Noche, Guadalajara, Jalisco, México. ISBN: 970-27-0177-5.
- Bonzano, A. (1998). "ISAC: a Case-Based Reasoning System for Aircraft Conflict Resolution." A thesis submitted to the University of Dublin, Trinity College, for the degree of Doctor in Philosophy.
- Cabrera, J. S. and G. Fariñas (1997). "El estudio de los estilos de aprendizaje desde una perspectiva vigostkiana: una aproximación conceptual. ." Revista Iberoamericana de Educación (ISSN: 1681-5653).
- Carmona, M. E. and G. Castillo (2007). "Discovering student preferences in e-learning."
- Castillo, E., J. M. Gutiérrez, et al. (1997). "Expert Systems and Probabilistic Network Models." Springer, New York. Versión Española editada por la Academia Española de Ingeniería.
- Duque, N. (2007). "Propuesta de Doctorado en Ingeniería de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia. Sede en Medellín. pp. 34. ."

- Durán, E. B. (2006). "MODELO DEL ALUMNO EN SISTEMAS DE APRENDIZAJE COLABORATIVO." " WAIFE - 2006.
- García, M. and R. Bello (1997). " El empleo del razonamiento basado en casos en el desarrollo de Sistemas basados en el conocimiento para el diagnóstico." Trabajo de Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas., UCLV.
- Gómez, H. (2008). "COBBER: Un Enfoque Sistémico, Afectivo y Ontológico para el Razonamiento Basado en Casos Conversacional." Memoria que presenta para optar al grado de Doctor en Informática. Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial. Facultad de Informática. Universidad Complutense de Madrid. .
- González, H., N. Duque, et al. (2008). "Modelo del estudiante para sistemas adaptativos de educación virtual." Revista de Avances en Sistemas e Informática, Vol. 5 No. 1, Edición especial Medellín, Mayo 2008, ISSN 1657-7663. III Congreso Colombiano de Computación -3CCC 2008.
- Grinder, M. (1991). "Righting the Educational Conveyor Belt." Metamorphous Press. .
- Guida, G. and C. Tasso (1994). "Design and Development of Knowledge- Based Systems. From Life Cycle to Methodology." John Wiley and Sons Ltd., Ba_ns Lane, Chichester, England.
- Gutiérrez, I. and R. Bello (2003). "Modelo para la Toma de Decisiones usando Razonamiento Basado en Casos en condiciones de Incertidumbre." Trabajo de Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.UCLV.
- Hand, D. J. (1997). "Construction and Assessment of Classification Rules. ." John Wiley & Sons, Chichester, UK. .
- Hilera, J. and V. Martínez (1995). "Redes Neuronales Artificiales: Fundamentos, modelos y aplicaciones." Addison-Wesley.
- Huapaya, C. R., G. M. Arona, et al. (2005). "Sistemas Tutoriales Inteligentes Aplicados a Dominios de la Ingeniería." JEITICS 2005 - Primeras Jornadas de Educación en Informática y TICS en Argentina.
- Hupaya, C. and F. Lizarralde (2009). "Un enfoque de la formación en ingeniería basada en computadora." Revista Iberoamericana de Educación. ISSN: 1681-5653. n.º 48/4 – 10 de febrero de 2009.
- EDITA: Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI).
- Jiménez, J. and D. Ovalle (2004). "Entorno Integrado de Enseñanza/Aprendizaje basado en ITS & CSCL." Revista Iberoamericana de Sistemas, Cibernética e Informática, USA, 1(1).
- Jiménez, J. A. and D. A. Ovalle (2008). "Uso de técnicas de Inteligencia Artificial en ambientes distribuidos de enseñanza/aprendizaje." Revista Educación en Ingeniería. ISSN 1900-8260. no. 5 . Pp 98-106.
- Kolb, D. (1976). "Learning Style Inventory, Self-Scoring Test and Interpretation Booklet." Boston MA: McBer and Company.
- Kolodner, J. L. (1992). "An Introduction to Case-Based Reasoning." Artificial Intelligence Review 6, pp. 3-34.
- Kolodner, J. L. (1993). "Case-Based Reasoning,." Morgan Kaufmann Publishers, Inc., San Mateo, CA, 1993.
- León, M., N. Martínez, et al. (2007). "Generating Intelligent Teaching-Learning Systems using Concept Maps and Case-Based Reasoning." Revista Colombiana en AVANCES EN SISTEMAS E INFORMÁTICA. Medellín, Colombia. Vol.4 No. 1. ISSN 1657-7663. Referenciada en Latindex.
- Lerner, U. (2002). "Hybrid Bayesian Networks for Reasoning about Complex Systems." url: citeseer.nj.nec.com/lerner02hybrid.html.
- López de Mántaras, R. (2005). "Retrieval, reuse, revision, and retention in case based reasoning." The Knowledge Engineering Review, Vol. 00:0, 1–2. 2005, Cambridge University Press DOI: 10.1017/S0000000000000000 Printed in the United Kingdom.
- Macias, J. A. and P. Castell (2001). "An Authoring Tool for Building Adaptative Learning Guidance Systems on the Web. ." Lecture Notes in Computer Science: Active Media Technology-AMT. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Marques de Sá, J. P. (2007). "Applied Statistics Using SPSS, STATISTICA, MATLAB and R." Library of Congress Control Number: 2007926024. I SBN 978-3-540-71971-7 Springer Berlin Heidelberg New York.
- Martínez, N., Z. García, et al. (2009). "Modelo para diseñar Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes utilizando el Razonamiento Basado en Casos." Tesis presentada en opción del grado

- científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central de Las Villas. Cuba.
- Medina, D., A. Acosta, et al. (2007). "MacBay: Herramienta para construir Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes con un enfoque bayesiano. ." Presentado en COMPUMAT 2007.
- Ming, G. and C. Quek (2007). "EpiList: An Intelligent Tutoring System Shell for Implicit Development of Generic Cognitive Skills That Support Bottom-Up Knowledge Construction." IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics: Part A, 37(1), .
- Minka, T. P. (2001). "Expectation propagation for approximate Bayesian inference. ." In Proceedings of the 17th Annual Conference on Uncertainty in AI (UAI), pp. 362-369.
- Mitra, R. and J. Basak (2005). "Methods of Case Adaptation. ." A Survey. INTERNATIONAL JOURNAL OF INTELLIGENT SYSTEMS, VOL. 20, 627-645. .
- Ovalle, D. and e. al. (2007). "Análisis funcional de la estrategia de aprendizaje individualizado adaptativo." Proyecto de investigación - DIME - Vicerrectoría de Investigación. Modelo de sistema multiagente de cursos adaptativos integrados con ambientes colaborativos de aprendizaje.
- Pearl, J. (1988). "Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems. ." Palo Alto: Morgan Kaufmann.
- Riccucci, S. (2008). "Knowledge Management in Intelligent Tutoring Systems." Dottorato di Ricerca in Informatica Università di Bologna, Padova December 2007, Technical Report UBLCS-2008-6 March 2008, Department of Computer Science University of Bologna, Mura Anteo Zamboni 7, 40127 Bologna (Italy).
- para variables lingüísticas y su aplicación en sistemas basados en el conocimiento." Tesis presentada en opción del grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. UCLV.
- Sampieri, R. and e. al. (1998). "METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION. ." McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S. A. de C. V. Una División de The McGraw-Hill Companies, Inc. Cedro Núm. 5 12, Col. Atlampa Delegación Cuauhtémoc 06450 México, D. F. Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, Reg. Núm. 736, ISBN 970-10-1899-0 (ISBN 968-422-93 1-3 primera edición).
- Shneiderman, B. (2006). "Diseño de interfaces de usuario. Estrategias para una interacción personacomputadora efectiva. ." Mexico: Addison Wesley.
- Sierra, E., García-Martínez, R., Hossian, A., Britos, P. y Balbuena, E. (2006). "Providing Intelligent User-Adapted Control Strategies in Building Environments." Research in Computing Science Journal. ISSN 1665-9899. Volumen 19. Pág. 235-241.
- Trella, M. (2006). "MEDEA: MEtodologías y herramientas para el Desarrollo de entornos inteligentes de Enseñanza y Aprendizaje." Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial. No.32 (2006), pp. 77-80. ISSN: 1137-3601. (<http://www.aepia.org/revista>).
- Rich, E. (1988). "Inteligencia Artificial." Edit. Gustavo Gili, S.A., Barcelona, 1988.
- Rodríguez, Y. and M. García (2007). "Generalización de la métrica basada en la diferencia de valores (VDM)

ISMAEL: Un agente BDI como cerebro de una plataforma de tele-educación

Fernando A. Mikic Fonte, Juan Carlos Burguillo Rial, Martín Llamas Nistal, David Fernández Hermida

E.T.S.E. Telecomunicación, Universidade de Vigo
Campus Universitario Lagoas-Marcosende s/n, Vigo, España
{mikic,jrial,martin}@det.uvigo.es, davidfh@enigma.det.uvigo.es

Resumen: INES (INtelligent Educational System) es un prototipo operativo de una plataforma de tele-educación capaz de desempeñar funcionalidades propias de un LMS (Learning Management System), un LCMS (Learning Content Management System), y un ITS (Intelligent Tutoring System). Para llevar a cabo todas estas funcionalidades, nuestro sistema en su conjunto engloba toda una serie de herramientas y tecnologías, como pueden ser entre otras: herramientas para la gestión semántica de usuarios y contenidos, un robot conversacional inteligente capaz de comunicarse con los estudiantes en lenguaje natural, y un agente inteligente basado en tecnología BDI (Believes, Desires, Intentions) que actúa como el cerebro del sistema. En el presente artículo nos centraremos en este agente inteligente, ISMAEL (Intelligent System Manager Agent for E-Learning), desarrollado y utilizado en la plataforma para gobernar el módulo de tutorización inteligente.

Palabras clave: BDI, Inteligencia Artificial, ITS, LCMS, LMS, Tele-educación.

Abstract: INES (INtelligent Educational System) is an operative prototype of an e-learning platform, which counts with functionalities of Learning Management Systems, Learning Content Management Systems, and Intelligent Tutoring Systems. To achieve these functionalities our system includes several tools and technologies, such as: semantic management of users and contents, a conversational agent to communicate with students in natural language, a BDI-based (Believes, Desires, Intentions) agent which acts as the brain of the system. At the present paper we will address this intelligent agent, ISMAEL (Intelligent System Manager Agent for E-Learning), developed and used in our platform to control the intelligent tutoring module.

Key words: BDI, Artificial Intelligence, ITS, LCMS, LMS, e-Learning.

1. Introducción

INES (*INtelligent Educational System*) es un prototipo operativo de una plataforma de tele-educación que nuestro grupo de investigación está desarrollando. Dicha plataforma combina aquellas funcionalidades que consideramos esenciales en una plataforma de este estilo, y que no son otras que las llevadas a cabo por un LMS (*Learning Management System*) [Grace et al. 05], un LCMS (*Learning Content Management System*) [Horton 00], y un ITS (*Intelligent Tutoring System*) [Murray 99].

Un LMS es una aplicación software instalada en un servidor, la cual se utiliza para gestionar, distribuir, y supervisar todas las tareas educativas de una organización o institución. Sus principales funciones son: gestionar usuarios, recursos, y actividades y materiales educativos, controlar el acceso, supervisar el proceso y el progreso educativo, realizar evaluaciones, etc. Un LMS a menudo no incluye capacidades de autoría, es decir, el poder crear sus propios contenidos educativos, lo cual normalmente recae sobre un LCMS.

Un LCMS se utiliza para crear y gestionar los contenidos de una parte de un programa educativo (por ejemplo un curso), el cual puede ser usado, gestionado, y personalizado de muy diferentes formas.

Por último, un ITS es un sistema de apoyo educativo (una especie de tutor virtual), que se encarga de prestar ayuda a los estudiantes en sus tareas de aprendizaje, y de suministrarles contenidos específicos, personalizados, y adaptados a sus propias aptitudes.

Para llevar a cabo todas estas funcionalidades, nuestro sistema en su conjunto engloba toda una serie de herramientas y tecnologías, como pueden ser: herramientas para la gestión semántica de usuarios (administradores, profesores, y alumnos) y contenidos, un robot conversacional inteligente (comúnmente conocido como *chatterbot*) capaz de comunicarse con los estudiantes en lenguaje natural [Neves et al. 02], un agente inteligente basado en tecnología BDI (*Believes, Desires, Intentions*) [Bratman 99] que actúa como el cerebro del sistema, un motor de inferencia basado en JESS (motor de reglas para la plataforma Java) [Friedman-Hill 00] y ontologías (para modelar a los usuarios, sus actividades, y los contenidos educativos) [Chandrasekaran et al. 99] que contribuyen a la parte semántica del sistema.

En el presente artículo nos centraremos en el módulo tutor inteligente, y en particular en el agente BDI, ISMAEL (*Intelligent System Manager Agent for E-Learning*), desarrollado y utilizado en la plataforma con la función principal de gobernar este módulo.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: En la sección 2 daremos una breve descripción de lo que son los agentes BDI y su funcionamiento. En la sección 3 presentaremos nuestra plataforma de tele-educación INES, centrándonos en sus funcionalidades como LMS, LCMS, e ITS. La sección 4 estará dedicada a la descripción del funcionamiento del módulo tutor inteligente, y en particular del funcionamiento y estructura de ISMAEL. Por último, terminaremos el artículo con unas conclusiones.

2. Agentes BDI

La especificación, diseño, verificación, y aplicación de los llamados agentes BDI ha recibido una gran atención durante los últimos años. Estos agentes son sistemas situados en un entorno cambiante, que reciben información de manera continuada, y que realizan acciones que pueden afectar a ese entorno basándose en su estado (mental) interno.

El modelo de agentes inteligentes es un paradigma inspirado en la noción de agentes racionales basados en actitudes mentales. En concreto, el modelo BDI (basado en los procesos mentales de Creencias, Deseos, e Intenciones) fue introducido en un primer momento como un modelo filosófico para el modelado del comportamiento racional humano. Sin embargo, posteriormente fue adoptado y transformado en un modelo de ejecución para agentes software basado en la noción de “creencias” (*believes*), “objetivos” (*goals*), y “planes” (*plans*), conceptos que pueden ser creados y manipulados por agentes.

Las creencias se refieren a aquello que el agente conoce (tanto en lo relativo al entorno en el que se encuentra como a su estado interno) y son almacenadas en la “base de creencias” (*believes base*) del agente. Los objetivos permiten describir qué es lo que el agente debe conseguir o alcanzar, pero no incluyen información de qué acciones tiene que llevar a cabo exactamente para lograrlo. Por último, los planes se componen de un conjunto de instrucciones que permiten a los agentes realizar una serie de acciones encaminadas a intentar cumplir los objetivos previamente marcados, es decir, si la situación actual de la que el agente es consciente (conoce) no se corresponde con la situación deseada (especificada en los objetivos) entonces el agente adoptará las medidas necesarias (ejecutará el/los plan/planes) para intentar alcanzarla. La relación entre los objetivos y los planes la llevará a cabo un razonador, el cual decide qué plan ejecutar para intentar satisfacer un objetivo determinado.

La utilización del verbo “intentar” no ha sido casual, ya que no se garantiza la consecución del objetivo perseguido. Esto es así debido a que el agente BDI se diseña para razonar bajo ciertas condiciones, las cuales pueden cambiar durante la ejecución de un

plan (o durante la toma de decisiones que llevan a la adopción de un plan). Teniendo esto en cuenta no es descabellado el encontrarse con planes alternativos o de contingencia.

Esta representación del comportamiento utilizando nociones mentales tiene varios beneficios, como pueden ser el evitar la abstracción a bajo nivel (ya que simplemente se presentan determinados objetivos que se desean conseguir y una serie de planes para conseguirlos) y la comprensión relativamente sencilla del comportamiento autónomo del agente (incluso su predicción).

3. Plataforma de Tele-educación INES

INES es un prototipo operativo de una plataforma de tele-educación, la cual combina capacidades esenciales relacionadas con las actividades de aprendizaje en línea propias de un LMS, un LCMS, y un ITS. Es decir, INES es capaz de llevar a cabo todo un conjunto de tareas específicas de estos tres tipos de sistemas, como son:

- Gestión de alumnos, administradores, recursos, actividades, acceso, evaluaciones, etc.
- Creación, gestión, y distribución de contenidos educativos.
- Tutorización, ayuda, y guía al alumno.

Las partes principales de las que se compone INES se pueden agrupar en una serie de bloques (Figura 1):

- 1 Ontología [Mikic et al. 09a]: Existe una ontología formada por tres sub-ontologías: una para definir semánticamente los contenidos de los cursos (objetos de aprendizaje) basada en LOM [Hodgins et al. 02], otra para modelar los datos de los usuarios basada en IMS LIP [Norton et al. 01], y la última para definir relaciones entre los usuarios y los contenidos de aprendizaje (creada por nuestro grupo de investigación expresamente para tal fin).
- 2 Módulo de gestión de contenidos y usuarios: Este módulo permite a los administradores gestionar tanto a los usuarios del sistema como los contenidos de los cursos, a la vez que permite el acceso a la ontología por parte del agente BDI y el motor de inferencia.

- 3 Motor de inferencia: El cual procesa las peticiones del agente BDI y decide lo que se permite hacer y lo que no.
- 4 Agente BDI: El auténtico cerebro del sistema. Está basado en tecnología BDI, y es el responsable de tomar decisiones personalizadas sobre el aprendizaje de cada estudiante de manera inteligente (ver sección 4 para más detalles).
- 5 *Chatterbot*: Responsable de la comunicación con los estudiantes [Mikic et al. 09b] (basado en [Mikic et al. 10]).

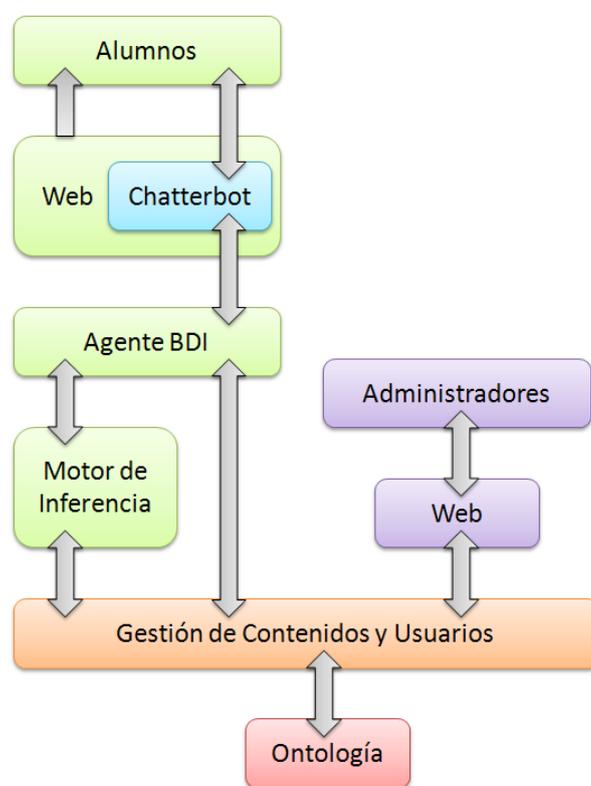


Figura 1. Diagrama de bloques de INES

3.1. Funcionalidades como LMS

Un LMS se puede definir como una aplicación software basada en Internet, usada para diseñar, implementar, y evaluar un proceso de aprendizaje específico, es decir, comprende todos los servicios necesarios para la correcta gestión en línea de actividades educativas. En particular, pretende ofrecer funcionalidades de gestión a los usuarios de la plataforma: administradores, profesores, y alumnos.

Los servicios ofrecidos por un LMS pueden ser diferentes según la plataforma de la que se trate, y en nuestro caso, INES ofrece entre otros:

- Administración y gestión de cursos: inscripción, directorio de usuarios, consulta de calificaciones, etc.
- Distribución de contenidos.
- Herramientas de trabajo colaborativo.
- Servicios de tutorización.
- Control y evaluación de usuarios.
- Diseño de planes de formación personalizados.

En resumen, las funcionalidades que, como un LMS, nuestra plataforma les ofrece a los docentes constituyen una manera de distribuir contenidos educativos, controlar la participación de los estudiantes, y evaluarlos.

3.2. Funcionalidades como LCMS

Un LCMS se utiliza para diseñar, crear, y gestionar los contenidos de un programa educativo (normalmente, contenidos pertenecientes a cursos).

Como LCMS, INES cuenta con las siguientes funcionalidades:

- Creación de contenido de manera sencilla, de tal manera que expertos en la materia a enseñar puedan llevar a cabo estas tareas con el mínimo esfuerzo, incluso aunque no tengan demasiada experiencia con el uso de tecnología.
- Inclusión de diferentes tipos de materiales educativos, desde simple texto a ricos contenidos multimedia.
- Almacenamiento de contenidos en un repositorio.
- Reutilización y exportación de contenidos, incluso en diferentes sistemas (gracias a la utilización de una ontología basada en LOM).
- Gestión y mantenimiento de contenidos.

De esta manera se combinan funcionalidades tanto de un LCMS como de un LMS, y así se aglutina la gestión completa del aprendizaje relacionada tanto con los usuarios (estudiantes, profesores, y administradores) como con los contenidos.

3.3. Funcionalidades como ITS

Los ITS son sistemas software educativos capaces de especificar qué enseñar y cómo hacerlo, es decir, son una especie de tutores virtuales inteligentes basados en conocimiento, que sirven de guía a los estudiantes en su proceso educativo, tratando de emular de alguna manera a un tutor humano.

En este sentido INES realiza inferencias sobre el dominio que un estudiante posee sobre un tema en particular o sobre una tarea a realizar, y de esta forma le ofrece al estudiante contenido educativo adecuado. De igual manera, se encarga de llevar a cabo una evaluación personalizada de cada estudiante y entre otras cosas, a través de los resultados obtenidos, recomendar determinadas tareas de aprendizaje.

4. Módulo Tutor Inteligente

ISMAEL es un agente BDI que actúa como el auténtico cerebro del módulo tutor inteligente del sistema. Básicamente, sus tareas son reconocer a cada alumno, comprobando sus credenciales cuando entre al sistema, y obtener información relativa a su progreso educativo en el mismo, para de esta manera poder sugerirle tareas a realizar encaminadas a la consecución de determinados objetivos de aprendizaje. Será el propio alumno el que, a través de la interacción con ISMAEL, decida si acepta estas tareas propuestas o solicita otras diferentes, las cuales podrán ser ofrecidas por ISMAEL para su realización o no, dependiendo de las decisiones que el agente tome al respecto (las cuales estarán basadas en una serie de parámetros relacionados con las rutas de aprendizaje propuestas y el perfil del alumno).

Este módulo tutor se ejecuta sobre la plataforma Jadex [Braubach 09], la cual ofrece funcionalidades para la gestión de agentes BDI.

4.1. Proyecto Jadex

El proyecto Jadex es llevado a cabo por el grupo de Sistemas Distribuidos y Sistemas de Información de la Universidad de Hamburgo y se distribuye bajo la licencia GNU LGPL [GNU 07], encontrándose en

continuo desarrollo. Actualmente dispone de una serie de herramientas que se pueden dividir en tres grupos):

- 1 Una API Java [Gosling et al. 00] y un conjunto de funcionalidades predefinidas para facilitar la programación de agentes.
- 2 Una plataforma que permite la ejecución de los agentes (*reasoning engine*).
- 3 Un conjunto de herramientas para usar en tiempo de ejecución que permiten gestionar y observar diferentes aspectos de los agentes.

Los agentes implementados en Jadex son conocidos como *Goal Oriented Agents*, es decir, agentes orientados a objetivos. Este paradigma permite añadir un nivel de abstracción en la definición del comportamiento del agente, de tal manera que el desarrollador podrá especificar unos objetivos a ser alcanzados por el agente sin concretar la forma de lograrlos, y así conseguir que el propio agente tenga cierto grado de libertad para decidir la forma más adecuada de alcanzar dichos objetivos.

4.2. Funcionamiento del Módulo Tutor Inteligente

En todo momento en el cual el sistema se encuentre activo, la plataforma Jadex se estará ejecutando, de tal manera que cada vez que un alumno acceda al sistema para la realización de sus tareas de aprendizaje, se generará bajo demanda una instancia de ISMAEL que lo atenderá como si de un tutor virtual se tratase.

Como ya se comentó brevemente con anterioridad, la comunicación con los alumnos se realiza a través de un *chatbot* o robot conversacional (CHARLIE - CHAtteR Learning Interface Entity), el cual actúa como una interfaz entre los estudiantes y el sistema. Más concretamente, CHARLIE se pondrá en contacto con un agente mensajero (EMMA – *Events and Messages Manager Agent*) el cual hará de intermediario entre él e ISMAEL (Figura 2).

4.2.1. Agente EMMA

El cometido de este agente es el de actuar como una especie de mensajero o intermediario entre el robot

conversacional y el agente BDI (ISMAEL), encargado de gestionar los eventos y mensajes que surjan entre ambos (este agente también se ha implementado como un agente BDI, lo cual permite beneficiarnos de las ventajas y comodidades de la plataforma Jadex).

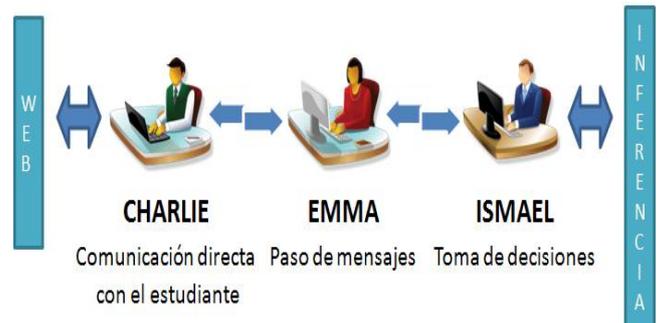


Figura 2. Esquema de funciones de CHARLIE, EMMA, e ISMAEL

Al arrancar el sistema se creará una instancia de EMMA, la cual se mantendrá en ejecución en todo momento, esperando conexiones provenientes del *chatbot*, momento en el cual se creará un hilo (*thread*) que se ocupará de leer los mensajes recibidos. Cuando se reciba un mensaje de *login*, significará que un alumno quiere entrar en el sistema, con lo cual el mensajero creará una instancia de ISMAEL. De igual manera, cuando este alumno abandone el sistema (con lo cual se generará un mensaje de *logout*) el agente mensajero será el encargado de destruir la instancia de ISMAEL correspondiente.

Una vez establecida la conexión con el *chatbot*, y con la instancia del agente BDI creada, EMMA convertirá los mensajes que le lleguen del primero a un formato que el segundo entienda, y se los reenviará a este último. De igual manera, cuando sea el agente BDI el que quiera comunicarse con el *chatbot*, se realizará el proceso inverso.

4.2.2. Agente ISMAEL

El agente ISMAEL es un agente BDI que se ejecuta en la plataforma Jadex, y como tal, está definido por un fichero XML llamado ADF (*Agent Definition File*) y por un conjunto de clases Java encargadas de ejecutar sus “planes”.

Tal como se ha ido comentando ya, la misión de este agente (su objetivo) es guiar al alumno a través de diferentes tareas de aprendizaje, comunicándose con él mediante el *chatbot* (y a través del agente mensajero).

A continuación resumiremos brevemente algunas de sus características BDI más importantes:

- **Creencias:** Estarán compuestas principalmente por una serie de referencias a: instancias para acceder al módulo de ontologías, instancia del agente mensajero para comunicarse con el *chatbot*, identificador del alumno al que está tutorizando, identificadores de las tareas en las que se encuentra inmerso el alumno, temporizadores, etc. En resumen, son todo un conjunto de parámetros (información) que el agente necesita para poder tomar decisiones en cuanto a los objetivos a cumplir en cada momento, y las acciones que se llevarán a cabo para intentar alcanzar esos objetivos.
- **Deseos:** Son el equivalente a los objetivos, y consisten básicamente en conseguir que el alumno realice una serie de actividades educativas previamente definidas por un profesor de la plataforma. Normalmente estas actividades estarán englobadas dentro de un esquema semántico que definirá las relaciones entre los diferentes objetos de aprendizaje, las cuales conformarán una ruta de aprendizaje que el alumno deberá seguir (la cual obviamente no tendrá porqué ser lineal, pero que para nuestro prototipo seguirá una estructura dividida en cursos, módulos, y unidades). El objetivo último y principal será que el alumno consiga ciertas competencias relacionadas con la materia enseñada, y para ello, este objetivo se irá dividiendo en sub-objetivos de menor nivel (y estos a su vez en otros) de manera recursiva, de tal manera que a medida que se vayan alcanzando estos sub-objetivos, se irán cumpliendo los de mayor nivel (y así sucesivamente hasta alcanzar el objetivo inicial).
- **Intenciones:** Estas intenciones se corresponden con los planes que el agente posee para intentar que el alumno consiga los objetivos planteados. El agente, por tanto, ejecutará una serie de planes (acciones) teniendo en cuenta en cada momento las creencias de las que dispone, los objetivos a

cumplir en ese instante, y los mensajes que le puedan llegar por parte del alumno. Además, también se incluyen una serie de planes para llevar a cabo tareas rutinarias del agente, como pueden ser: tareas encargadas de procesar los mensajes (tanto los recibidos como los que se quieran enviar), tareas de gestión de la temporización, etc.

Por último, tan solo reseñar la utilización de temporizadores, los cuales van a servir de alguna manera para detectar la presencia de un alumno ante determinados períodos de inactividad del mismo. Existen dos razones principales para llevar a cabo esta comprobación:

- 1 **Detección de abandono del sistema:** Si el tiempo de inactividad es considerable (excede ciertos límites regulados por los temporizadores) se podrá asumir que el alumno ha abandonado su tarea sin comunicárselo al sistema, y por lo tanto se procederá al cierre de la sesión del estudiante (con el consiguiente ahorro de recursos).
- 2 **Control del tiempo que los alumnos dedican a cada tarea educativa:** La información semántica de los objetos de aprendizaje utilizados incluye información sobre el tiempo medio que un alumno debería invertir con los mismos; por tanto, el tiempo que los alumnos tardan realmente en finalizar sus tareas es fundamental a la hora de conocer si dicho tiempo medio está correctamente dimensionado. Además, el tiempo que un alumno tarde en realizar sus tareas es un dato que aportará valiosa información a su perfil educativo.

En concreto existen dos temporizadores, el primero de ellos dará lugar a un aviso y a la inicialización del segundo, y en caso de vencerse este último se cerrará la sesión del alumno.

4.2.3. Diagrama de Flujo del Módulo Tutor Inteligente

Para finalizar comentaremos brevemente el funcionamiento de este módulo en régimen permanente, es decir, una vez que el alumno se encuentra realizando una tarea de aprendizaje (Figura 3):

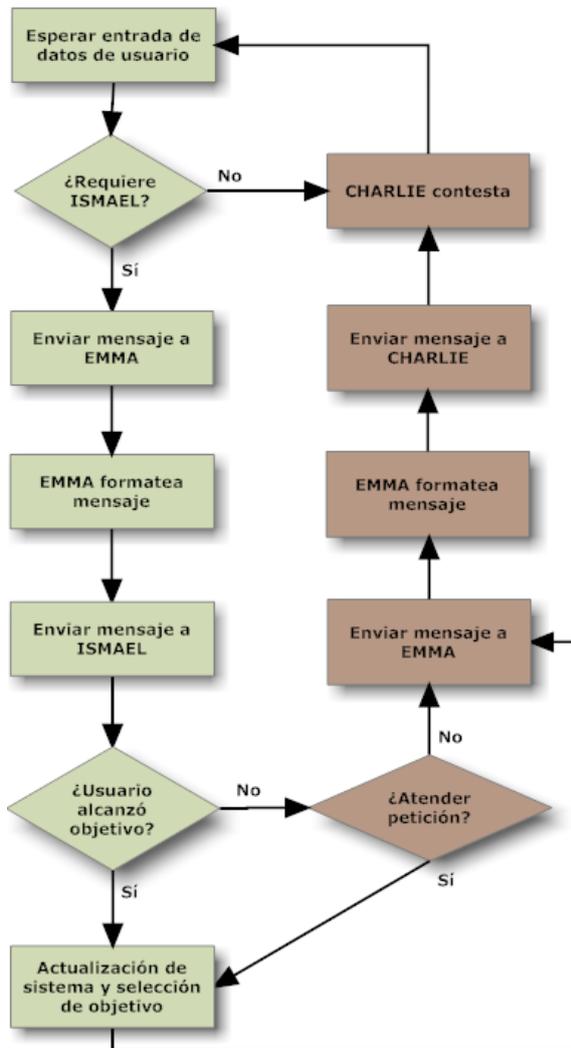


Figura 3. Diagrama de flujo del módulo tutor inteligente

- Una vez que el usuario le envía un mensaje al *chatbot*, este lo procesa para saber si necesita enviárselo al agente BDI o por el contrario es capaz él mismo (a través de su base de conocimiento) de contestarle al usuario.
- Si se requiere el envío del mensaje (porque es un aviso de que el usuario ha terminado su tarea, o bien porque este solicita algo del sistema), CHARLIE se lo pasa a EMMA, la cual tras formatearlo adecuadamente, se lo envía a ISMAEL.
- ISMAEL comprueba si el usuario ha terminado de realizar su tarea cumpliendo el objetivo que se le hubiera asignado.
- En caso afirmativo (el mensaje era un aviso de

tarea finalizada) se realiza una actualización del sistema (creencias y ontología) y se procede a la selección del siguiente objetivo a conseguir por el alumno, con el consiguiente lanzamiento de los planes asociados al mismo, y la comunicación al usuario de tal hecho.

- En caso de que el usuario no hubiese cumplido su objetivo, se procesa la petición del mismo, enviándosele un mensaje adecuado en caso de ser rechazada, o bien realizando la actualización del sistema (y los pasos posteriores que hemos especificado en el punto anterior) en caso de ser aceptada.

Por último, comentar que la selección del siguiente objetivo a conseguir es un proceso que implica tener en cuenta tanto la ruta de aprendizaje que se hubiese definido como la situación actual del alumno en relación a sus tareas de aprendizaje (conocimiento al cual accede ISMAEL a través de la información semántica almacenada en la ontología del sistema).

Por ejemplo, el siguiente objetivo seleccionado podría ser que el alumno realizase la siguiente tarea de la ruta de aprendizaje (definida previamente por el creador del curso que el alumno está realizando), que se le recomendase repasar determinados contenidos que ya había visto (esta recomendación podría estar basada en resultados extraídos de pruebas que se le hayan hecho al alumno para evaluar los conocimientos adquiridos o por la cantidad de tiempo que ha pasado desde que el alumno se vio ese contenido), que se le presente material educativo adicional (tanto a petición explícita del alumno como en modo de recomendación por parte del sistema), etc.

5. Conclusiones

La contribución más importante del presente artículo es la presentación de un prototipo funcional de plataforma de tele-educación (llamada INES), la cual incluye capacidades propias de sistemas LMS, LCMS, e ITS; y más específicamente, la presentación de su módulo tutor inteligente. Dicho módulo está gobernado por un agente inteligente basado en tecnología BDI, llamado ISMAEL, el cual actúa como el auténtico cerebro del sistema. Básicamente,

sus tareas son reconocer a cada alumno, comprobando sus credenciales cuando entra al sistema, y obtener información relativa a su progreso educativo en el mismo, para de esta manera poder sugerirle tareas personalizadas a realizar encaminadas a la consecución de determinados objetivos de aprendizaje

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia a través del proyecto "Servicios Adaptativos para E-learning basados en estándares" (TIN2007-68125-C02-02), y por la Consellería de Innovación e Industria de la Xunta de Galicia (Programa de Promoción General de la Investigación del Plan Gallego de IDIT) a través del proyecto "E-BICS: E-learning – Bases de Integración e Coordinación sobre eStándares" (PGIDIT06PXIB32 2270PR).

Referencias

- [Bratman 99] M. E. Bratman, "Intention, Plans, and Practical Reason". CSLI Publications. (1999).
- [Braubach 09] L. Braubach, "Jadex, BDI Agent System". Distributed Systems and Information Systems Group, University of Hamburg. Disponible en línea en <http://jadex.informatik.uni-hamburg.de/bin/view/About/Overview>. (2009).
- [Chandrasekaran et al. 99] B. Chandrasekaran, J. R. Josephson, and V. R. Benjamins. "What Are Ontologies and Why Do We Need Them". IEEE Intelligent Systems, 14, 20-26. (1999).
- [Friedman-Hill 00] E. J. Friedman-Hill, "Jess, The Java Expert System Shell". Disponible en línea en http://web.njit.edu/all_topics/Prog_Lang_Docs/html/jess/. (2000).
- [GNU 07] "GNU Lesser General Public License". Disponible en línea en <http://www.gnu.org/licenses/lgpl.html>. (2007).
- [Gosling et al. 00] J. Gosling, B. Joy, G. Steele G., and G. Bracha, "The Java language specification". Addison-Wesley. (2000).
- [Grace et al. 05] A. Grace, and T. Butler, "Beyond Knowledge Management: Introducing Learning Management Systems". Idea Group Publishing. (2005).
- [Hodgins et al. 02] W. Hodgins, and E. Duval, "Learning Object Metadata Standard". IEEE 1484.12.1-2002. (2002).
- [Horton 00] W. K. Horton. "Designing Web-Based Training: How to Teach Anyone Anything Anywhere Anytime". John Wiley and Sons. (2000).
- [Mikic et al. 10] F. A. Mikic, J. C. Burguillo, and M. Llamas. "TQ-Bot: An AIML-based Tutor and Evaluator Bot". Journal of Universal Computer Science (JUCS), Verlag der Technischen Universität Graz, Austria, 15, 7, 2010, 1486-1495. (2010).
- [Mikic et al. 09a] F. A. Mikic, J. C. Burguillo, M. Llamas, and D. Fernández. "Using Semantics in INES, an Intelligent Educational System". 39th Frontiers in Education Conference - FIE 2009 (San Antonio, Texas, EE. UU., October 18 - 21, 2009).
- [Mikic et al. 09b] F. A. Mikic, J. C. Burguillo, M. Llamas, D. A. Rodríguez, E. Rodríguez. "CHARLIE: An AIML-based chatterbot which works as an interface among INES and humans". 20th European Association for Education in Electrical and Information Engineering - EAEEIE 2009 (Valencia, Spain, June 22 - 24, 2009).
- [Murray 99] T. Murray. "Authoring Intelligent Tutoring Systems: An Analysis of the State of the Art". International Journal of Artificial Intelligence in Education, 10, 98-129. (1999).
- [Neves et al. 02] A. M. M. Neves, I. Diniz, and F. A. Barros. "Natural Language Communication via AIML Plus Chatterbots". V Symposium on Human Factors in Computers Systems (IHC 2002), Fortaleza - CE, 387.
- [Norton et al. 01] M. Norton, and J. Treviranus. "IMS Learner Information Package Information Model Specification. IMS Technical Report". (2001).