

*Apoyo al profesor en los sistemas de enseñanza adaptativos: Experiencias en PDinamet**

Miguel Montero¹, Elena Gaudioso², Félix Hernández²

¹Centro de Profesores y Recursos de Albacete
Avenida de España 12, 02002 Albacete
mmontero@jccm.es

²Dept. de Inteligencia Artificial
ETS Ingeniería Informática
UNED
{elena,felixh}@dia.uned.es

Resumen: Por lo general, el objetivo fundamental de la adaptación en sistemas educativos es guiar al alumno a través del material del curso para mejorar la efectividad del proceso de aprendizaje. Sin embargo, los alumnos no estudian solos, y suele haber un profesor que actúa como guía y facilitador del proceso de aprendizaje. Para ayudar al profesor en sus funciones, es necesario que obtenga datos pedagógicamente relevantes de la interacción de los alumnos con el sistema mediante la monitorización adecuada de las actividades que éstos llevan a cabo en el sistema de educación adaptativo (SEA). A partir de toda esta información el profesor deberá poder intervenir a través de las recomendaciones y recursos que se presentan al alumno gracias al SEA. En este artículo repasaremos el papel que ha tenido el profesor hasta el momento en el área de los sistemas de educación adaptativos y las experiencias llevadas a cabo en el sistema PDinamet, un sistema de educación adaptativo para la enseñanza de la física en educación secundaria.

Palabras clave: Sistemas de educación adaptativos, sistemas de soporte al profesor, educación secundaria, minería de datos en educación, utilización de los modelos aprendidos, recomendadores.

Abstract: Traditionally, the goal of adaptive educational systems (AESs) is supporting students in their learning process. However, students are not alone in their study, since teachers usually guide them. To play their role as facilitators of learning process, teachers need to obtain pedagogically relevant data about the students' interaction with the AES gathered thanks to the monitoring of the students' activities in the AES. Taking this information into account the teacher should be able to intervene in the presentation of the recommendations and learning resources to the students through the AES. In this paper we review the role that the teachers have played in the area of the AESs development. Next we present the experiences carried out with PDinamet, an adaptive educational system directed to the teaching of physics.

Key words: Adaptive educational systems, support to teachers, secondary education, educational data mining, development of learned models, recommenders.

1. Introducción

En cualquier proceso educativo no basta con conocer únicamente el resultado final del proceso de

enseñanza. Para ayudar a orientar situaciones didácticamente relevantes, es necesario conocer la completa evolución del propio proceso de aprendizaje realizado por el alumno. En el aula, el profesor

* Artículo seleccionado del VIII Simposio Nacional de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la Educación – SINTICE 2007, (Zaragoza, España 2007), extendido y revisado para su publicación en **IE Comunicaciones**.

supervisa las actividades de los alumnos y lo mismo debe poder hacerse cuando éstos utilizan un sistema de educación adaptativo (SEA). Los SEAs proporcionan recomendaciones a los estudiantes, ofreciéndoles consejos o recomendándoles nuevos recursos para que hagan frente a las diferentes situaciones que pueden presentarse en el curso. Estas recomendaciones se realizan en base al conocimiento que el sistema tiene del estudiante y de su nivel de conocimiento de la materia. Esta información se encuentra codificada en el llamado modelo de estudiante [Holt et al., 1994]. No obstante la casuística que se puede presentar en un entorno educativo es muy amplia. Este hecho dificulta enormemente que el sistema pueda ofrecer al alumno una recomendación adecuada, ya que no es posible prever y codificar todas las posibles situaciones que pueden darse a lo largo de un curso. Si se potencia la figura del profesor como uno de los actores principales en los SEAs, éste puede intervenir y modificar el proceso de recomendación. De esta forma, a partir de un análisis elaborado de lo que está ocurriendo en el curso y de la propia experiencia del profesor, éste puede añadir nuevos consejos o añadir nuevos recursos para determinadas situaciones.

En este artículo se revisará el papel que se le atribuye actualmente al profesor en los SEAs. A continuación presentaremos PDinamet y describiremos los sistemas de ayuda al profesor que hemos introducido. Para finalizar, describiremos las experiencias que hemos llevado a cabo y las líneas de trabajo futuro.

2. El papel del profesor en los sistemas de educación adaptativos

Tradicionalmente, los sistemas de educación adaptativos no han prestado una especial atención al profesor como elemento de calidad en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Éstos se centran en la actividad del alumnado y, aunque algunos sistemas proporcionan herramientas al tutor para que pueda ver qué está ocurriendo en el curso, raramente se le permite intervenir en el proceso de aprendizaje a través del SEA. Hasta el momento, algunos ejemplos de tareas de soporte a profesores son: proporcionar informes de actividad y visualizaciones de las interacciones [Mazza et al., 2006], encontrar patrones de comportamiento adecuados y no adecuados

[Gaudio et al., 2006], evaluar la estructura de un curso y su efectividad en el proceso de aprendizaje [Tang et al., 2000], evaluación continua de los alumnos [Silva et al., 2002], generación de ayuda adaptativa a profesores [Kosba et al., 2007], diagnóstico de los errores más comunes [Stathacopoulou et al., 2007, Sison et al., 1998] y predicción del rendimiento de los alumnos [Nghe et al., 2007]. Dos buenas revisiones pueden encontrarse en [Brusilovsky, 2003] y [Romero et al., 2007].

Además de este tipo de tareas de soporte, es especialmente importante la relación del profesor con la autoría del curso. Si el profesor se encuentra implicado en la realización del curso, los materiales así como su estructura responderán a su forma de entender y llevar a cabo el proceso de enseñanza. Este hecho sin duda influirá en la puesta en práctica del curso, mucho más que si el grado de participación del profesor es bajo, percibiendo los materiales como algo externo y cerrado, en el que su grado de participación es escaso. Aunque muchos de los sistemas actuales proporcionan herramientas de autor que permiten que el profesor se involucre en la autoría del curso, este proceso se realiza antes de empezar el curso y una vez empezado no es posible, por lo general, incluir nuevos recursos o modificar el proceso de recomendación. Por tanto, es conveniente revisar el papel del profesor en la aplicación de los SEAs en la práctica.

En los Sistemas Tutoriales Inteligentes (STI) [Wenger, 1987], en los Sistemas de Hipermedia Adaptativa (SHA) [Brusilovsky, 2001] y en los sistemas de soporte a la colaboración (CSCL) [Soller et al., 2005] es el alumno el que interactúa con el sistema, que será el encargado de dirigir el proceso de aprendizaje según la codificación realizada por el programador del sistema. En los SHA puede darse el caso, de que el curso lo haya desarrollado el propio profesor, utilizando alguna de las herramientas de autor disponibles (por ejemplo, el sistema AHA [De Bra et al., 1998]). No obstante, una vez codificado, el profesor ya no suele tener más interacción con el sistema, y es éste el que dirigirá el aprendizaje del alumnado. Aparte de los sistemas que tradicionalmente se han considerado en el área de los SEAs, hoy en día están teniendo gran auge las llamadas comunidades virtuales de aprendizaje. Este tipo de comunidades se forman utilizando los llamados sistemas de gestión del aprendizaje

(conocidos como LMS del inglés Learning Management System). En ellos, tanto el alumno como el profesor intervienen en el proceso de aprendizaje, siendo el profesor el propio autor de los materiales del curso. El profesor monitoriza y modera el grupo a través de las herramientas de análisis de las actividades de los alumnos que proporcionan los LMS [Zorrilla et al., 2007, Jovanovic et al., 2007]. En los LMS los materiales no se suelen adaptar a las características y necesidades de cada alumno. Paralelamente al desarrollo de las comunidades virtuales de aprendizaje, surgieron los sistemas de Diseño Instruccional (DI) [Burgos et al., 2006] que se basan en estándares educativos y que consisten en que el autor del curso defina los materiales y predefina las diferentes rutas de aprendizaje que se le presentarán al alumno de acuerdo a sus conocimientos y capacidades. En este tipo de sistemas se encuentran involucrados tanto el alumno como el profesor, pero éste no tiene por qué ser el autor del curso. Últimamente se están incorporando motores que interpretan cursos definidos mediante estándares de DI en los LMS, y se está empezando a introducir herramientas que monitorizan las actividades que realizan los alumnos [Camacho et al., 2007]. Pese a las propuestas que se están haciendo en el área con vistas a conseguir que la ruta de aprendizaje mostrada al alumno se construya dinámicamente [Camacho et al., 2007], la intervención del profesor se encuentra limitada, puesto que una vez cargado el curso éste no puede modificarse una vez iniciado el curso.

En resumen, en la mayoría de los SEAs implementados hasta el momento, el apoyo al profesor está excesivamente restringido y mediatizado por la estructura previa de los materiales o informes a los que tiene acceso. El proceso de enseñanza aprendizaje en entornos reales, tiene una gran complejidad que hace muy difícil prever de antemano todas y cada una de las situaciones conflictivas que se pueden presentar. Por tanto, es necesario proporcionar herramientas abiertas, integradas en el propio proceso, que permitan realizar análisis y extraer conocimiento útil más allá de las situaciones arquetípicas y fácilmente generalizables. Al mismo tiempo debe permitirse al profesor no sólo recibir estos análisis sino intervenir en el proceso gracias a la información recibida.

3. El profesor en PDinamet

Teniendo en cuenta lo descrito hasta el momento, en este apartado describiremos el papel que el profesor tiene en PDinamet, un sistema de educación adaptativo para la enseñanza de la física en educación secundaria.

3.1. Introducción a PDinamet

PDinamet es un sistema adaptativo dirigido a la asignatura de Física y Química de 4º Eso, y más concretamente dentro del tema de Dinámica. PDinamet brinda al alumno una serie de recursos (Páginas de teoría, Laboratorios Virtuales, Talleres,...) [Montero et al., 2005; Montero et al., 2006] que le permiten adquirir nuevos conocimientos y destrezas para ponerlas en juego en las distintas situaciones de aprendizaje que se le brindan, asegurando así su generalización.

En PDinamet, los recursos disponen de una gran interactividad lo que permite recoger datos del proceso de aprendizaje del alumno y no sólo del resultado final de la evaluación.

Los recursos en PDinamet, se encuentran totalmente interrelacionados según los objetivos que se encuentran especificados en el modelo pedagógico. El modelo pedagógico en PDinamet consiste en una serie de objetivos que el alumno debe alcanzar. Para medir el nivel de trabajo y conocimientos alcanzado para cada objetivo se hace uso de unos indicadores. Cada recurso en PDinamet trabaja un determinado indicador. Cuando el alumno trabaja con alguno de los recursos, el nivel de trabajo para sus respectivos indicadores se actualiza. Este modelo pedagógico basado en recursos y objetivos es muy común en el desarrollo de sistemas de educación adaptativos [Brusilovsky et al., 2003].

Toda la interacción del alumno con los recursos, así como sus resultados de evaluación, se encuentran registrados en el sistema, de manera que, para cada objetivo, se guarda el nivel de trabajo, el nivel de conocimientos en ese objetivo y el proceso de aprendizaje que ha seguido cada alumno. Toda esta información junto con datos personales y datos obtenidos de un cuestionario inicial para conocer el nivel de conocimientos previo del alumno, conforman el modelo del estudiante en PDinamet.

Este modelo sirve de base para realizar ciertas recomendaciones al alumno para ayudarle en su estudio. Para guiar a los estudiantes mediante recomendaciones de recursos se ha implementado un recomendador que selecciona los recursos de aprendizaje más adecuados dependiendo de cada alumno y contexto. Así, cada vez que el alumno visita un recurso, PDinamet hace una llamada al recomendador para que le indique si existe, para ese alumno en concreto y para ese recurso, una

recomendación. En el caso de que exista recomendación, aparecerá un icono indicando al alumno esta circunstancia. Son recomendaciones posibles: recomendar un recurso adecuado, señalar si un recurso es adecuado o no (indicando cómo mejorar la situación en el caso en que no esté recomendado el recurso) o mostrar un mensaje con un consejo para el estudio. En la parte izquierda de la Figura 1 se muestra la recomendación cuando el alumno ha visitado una página de teoría.



Figura 1. Recomendación mostrada al alumno (texto mostrado debajo de la bombilla en la parte izquierda de la imagen)

Estas recomendaciones se realizan gracias a un conjunto de reglas predefinidas que se encuentran en la base de conocimiento de un programa Prolog. Las reglas son de la forma `recommended_item(studentID, resourceID)` y comprueban si un alumno satisface los requisitos pedagógicos definidos en base a sus conocimientos y a las características de un recurso de aprendizaje en particular.

A continuación se describe el soporte al profesor que se realiza en PDinamet.

3.2. Soporte al profesor en PDinamet

En PDinamet el profesor dispone de dos herramientas fundamentales para ayudarle en su tarea de apoyo, seguimiento y orientación del proceso de enseñanza aprendizaje:

1. Información y análisis del proceso de aprendizaje del alumno y del grupo.
2. Intervención en el proceso de aprendizaje.

a. Información y análisis del proceso de aprendizaje del alumno y del grupo

En PDinamet existen dos formas diferentes de obtener un análisis del proceso de aprendizaje del alumno y del grupo. Por un lado existen unos informes predefinidos que proporcionan la información que tiene el sistema de la interacción del alumno. Algunos ejemplos de estos informes son: valoración del cuestionario inicial (que da una idea del nivel de partida del alumno), ficha individual del alumno (con información pormenorizada sobre los recursos realizados y su ritmo de trabajo), valoración global del trabajo del alumno en el sistema (con el nivel de consecución de objetivos), valoración del progreso del grupo (cada grupo es la clase de un profesor y estos informes le dan información sobre cómo va el grupo en su conjunto: ritmo de trabajo y nivel de consecución de objetivos). Estos informes incluyen recomendaciones al profesor cuando se detectan situaciones problemáticas que han sido previamente especificadas. Aunque de probada utilidad, estos informes son insuficientes debido a la gran diversidad de situaciones diferentes que pueden darse.

Por otro lado, en PDinamet, hemos introducido la posibilidad de realizar análisis más elaborados utilizando técnicas de aprendizaje automático. Este tipo de análisis se describirán más en profundidad en las siguientes secciones.

b. Intervención en el proceso de aprendizaje.

La intervención en el proceso de aprendizaje se realiza mediante la inclusión de nuevos recursos de aprendizaje y la interacción del profesor con los análisis de la actividad de los alumnos con el sistema. La primera opción trata de recoger un hecho habitual en la práctica docente, en el que un profesor, además de los recursos propios proporcionados por el sistema, disponga de materiales, tanto teóricos como prácticos, que considera válidos y oportunos para el desarrollo del tema o unidad sobre la que se está trabajando. Esta funcionalidad se describirá con más profundidad en la sección 6.

En la siguiente sección se describirán los informes predefinidos que puede obtener el profesor en PDinamet.

4. Informes predefinidos en PDinamet

Ya hemos comentado que es fundamental apoyar al profesor proporcionándole herramientas de obtención de información y análisis que le permitan desempeñar su rol de guía y facilitador de aprendizajes. Este papel es difícil de desempeñar en las aulas ordinarias, debido tanto a la alta ratio como al poco tiempo efectivo del que se dispone.

En PDinamet el docente puede obtener información tanto individualizada de cada alumno como a nivel de grupo, desde el punto de vista del proceso de trabajo desarrollado y de los resultados obtenidos.

A continuación se describirán los diferentes informes predefinidos que se han considerado en PDinamet.

4.1. Informes individuales:

Su objetivo es ayudar al profesor a realizar un seguimiento personalizado de cada estudiante. La información a la que tiene acceso se puede agrupar en los siguientes bloques:

- ***Análisis del Pretest de cada alumno***

El profesor puede conocer la valoración que el sistema realiza del alumno tomando como base sus respuestas y datos introducidos por el alumno en un cuestionario inicial. Estas respuestas constituyen valores indicativos de partida y no son condicionantes de la actuación pedagógica.

- ***Trabajo realizado en páginas específicas***

PDinamet, como ya se ha comentado, consta de una serie de recursos interrelacionados diseñados para que el alumno pueda alcanzar los objetivos didácticos propuestos. Es importante que el tutor pueda conocer, no únicamente si han sido visitados o no, sino también el proceso de trabajo realizado y los resultados obtenidos. Los materiales objeto de análisis se han elegido fundamentalmente teniendo en cuenta su relevancia en el proceso de enseñanza-

aprendizaje; estos son: Talleres, Generadores de problemas y Cuestionarios (tanto generales como específicos, para cada uno de los contenidos desarrollados). La forma de trabajar con estos informes es muy similar, aunque, lógicamente, debido a las diferentes características de cada recurso, la información que proporcionan tiene sus propias peculiaridades.

Entre la información común o apartados comunes a los informes de los diferentes recursos, caben destacar los siguientes campos: datos identificativos del alumno; número de sesiones y fechas en las que se ha trabajado el recurso; número de veces que se ha completado (contabilizándose no únicamente que el alumno lo haya visitado, sino si ha intentado su resolución); nivel de dificultad, cuyo valor está preestablecido en la programación didáctica inicial (en la determinación del nivel de dificultad se tiene en cuenta la necesidad del alumno de tener otros conocimientos del tema perfectamente asimilados antes de poder resolver correctamente este tipo de ejercicios), datos de interacción (el objetivo de este apartado es proporcionar al tutor información relevante sobre el trabajo llevado a cabo por el alumno con cada uno de los recursos utilizados).

En cuanto a la información específica de cada recurso se trata de recoger el máximo de información teniendo en cuenta las características pedagógicas de cada uno de ellos (sistema de ayudas, recursos relacionados, tipo de respuesta,...). Así, por ejemplo, en los Talleres y Generadores de problemas aparece un apartado que informa al tutor sobre las ayudas que el alumno ha solicitado en la resolución de este tipo de ejercicios. Esta información proporciona una buena aproximación sobre la capacidad del alumno en buscar información para resolver soluciones problemáticas o improductivas desde el punto de vista didáctico. Esta información unida a la valoración de los resultados, proporciona una estimación de su nivel de autonomía en el aprendizaje, y esto se relaciona directamente con el objetivo final que se busca en un enfoque constructivista del aprendizaje: que el alumno sea capaz de “aprender a aprender”.

Se ha valorado de una forma especial el acompañar los informes de los diferentes recursos con una serie de valoraciones y consejos que ayuden al profesor en

la evaluación del trabajo realizado por cada alumno. Estos consejos tratan de:

- Ayudar en la interpretación de los datos que se muestran en las diferentes tablas.
- Llamar la atención sobre situaciones problemáticas que han podido aparecer durante el aprendizaje: mala comprensión de algún concepto, errores operativos específicos, problemas en la utilización del interfaz o errores conceptuales.
- Determinar situaciones no deseables desde el punto de vista pedagógico, tales como repetición de soluciones conocidas con el objeto de aumentar la calificación media.
- Comentar relaciones entre datos no evidentes a priori.

Estas valoraciones y consejos no han sido establecidas de manera arbitraria sino que se basan en la experiencia docente, así como también en la experiencia con el análisis de este tipo de datos. Asimismo han sido elicitadas por diferentes profesores del área (que en este caso actuaban como expertos) y han sido validadas por la aceptación que de ellas han hecho el profesorado que las ha utilizado en entornos educativos reales.

4.2. Información sobre el nivel alcanzado en los objetivos didácticos propuestos

La información actualizada sobre el nivel de consecución alcanzado en los objetivos didácticos propuestos, permite al profesor tener una visión global de cuál es la situación general en la que se encuentra el proceso de aprendizaje de un alumno. Los objetivos a alcanzar se han clasificado en tres niveles:

- Inicial: son los objetivos de entrada al tema.
- Medio: constituyen el bloque central del aprendizaje.
- Avanzado: suponen la ampliación, concreción y aplicación de los objetivos de nivel inicial y medio.

Cada uno de los objetivos se ha subdividido en una serie de indicadores que representan estados evaluables en el aprendizaje del alumno. La

valoración del nivel de conocimiento para un determinado objetivo se ha discretizado en los siguientes valores: *Muy bajo, Bajo, Medio y Alto*. Esta información se valora como insuficiente si no se acompaña con una evaluación del proceso de trabajo seguido o, dicho de otra forma, si ha utilizado todos los recursos disponibles para garantizar la consecución del objetivo. En la valoración del trabajo desarrollado hemos adoptado las siguientes divisiones: *No trabajado, Insuficientemente trabajado, Parcialmente trabajado y Suficientemente trabajado*.

La importancia de relacionar el nivel de consecución con el proceso de trabajo desarrollado es evidente: si únicamente tuviéramos en cuenta si ha conseguido o no un objetivo, perderíamos la información de aquellos alumnos que habiendo trabajado todos los recursos relacionados con el objetivo, no han sido capaces de alcanzarlo en un nivel adecuado. Estas serán situaciones que requerirán la implicación del profesor estudiando cuáles son los motivos que pueden provocarlas.

Por último, se ha utilizado un código de colores para facilitar que, en un simple vistazo, el profesor detecte las situaciones problemáticas. Así, si la valoración de un objetivo o del trabajo desarrollado no es positiva, la valoración aparecerá en rojo, mientras que si, por el contrario, la valoración se puede considerar como adecuada, ésta aparecerá en color verde.

4.3. Informes de Grupo

Además de analizar la trayectoria y progreso de un alumno determinado, también es posible analizar el trabajo de un grupo clase en su conjunto y su nivel de progreso, así como dificultades con recursos concretos. Esto tiene una gran importancia ya que permitirá detectar situaciones de interés a nivel general, como puede ser una dificultad para la consecución de un determinado objetivo o indicador o en una tarea determinada. También en grado positivo, permitirá observar objetivos o tareas que el grupo supera en un tanto por ciento muy elevado. Todas estas observaciones pueden permitir al profesor tomar diferentes decisiones, tales como:

- Priorizar determinadas actividades sobre otras

- Mejorar la información que recibe el alumno sobre algunos recursos.
- Detectar la necesidad de materiales complementarios.

Los dos grupos de información a los que puede acceder el profesor son el análisis de las actividades del grupo y la valoración del nivel de consecución de los objetivos agrupados, según su nivel, en objetivos de nivel inicial, medio y avanzado.

En cuanto al análisis de las tareas llevadas a cabo por el grupo con los diferentes recursos específicos, se pueden destacar los siguientes ítems informativos: número de alumnos (en porcentaje) que lo utilizan, número total de respuestas emitidas, número total de respuestas correctas y porcentaje de respuestas correctas del grupo sobre el total emitidas.

En cuanto al análisis del nivel de consecución de objetivos, se pueden destacar los siguientes ítems informativos:

- Tanto por ciento del alumnado cuya valoración de cada uno de los objetivos es óptimo, medio o bajo.
- En cada objetivo se proporciona una información general del grupo, como es el número de alumnos que no han realizado todavía ninguno de los ítems relacionados con la evaluación del objetivo, el número de alumnos que si han respondido a los ítems relacionados con el objetivo evaluado o el número de alumnos que no han superado el recurso, lo han suspendido o no lo han utilizado adecuadamente.

4.4. Limitaciones de los Informes predefinidos

Entre las principales limitaciones que se han detectado en la utilización de los diferentes informes predefinidos cabe destacar:

- La casuística de situaciones que se pueden dar en el proceso de enseñanza aprendizaje es muy amplia por lo que es imposible prever de antemano todas y cada una de ellas, estableciendo previamente las medidas de actuación necesarias.
- El profesor necesita información actualizada para poder intervenir adecuadamente. Esta información se obtiene a partir de múltiples datos

de interacción, los cuales serán cambiantes ya que estamos trabajando con alumnos en formación, por lo que su nivel de competencia y de interacción se irá modificando de forma continua y el sistema debe ser lo suficientemente premeable para dar respuesta a esta situación.

Estas limitaciones hacen que sea necesario establecer otras herramientas complementarias que puedan paliar la situación planteada. En la siguiente sección se describirán otros análisis complementarios que se realizan mediante técnicas de aprendizaje automático.

5. Análisis de la actividad del alumno mediante técnicas de aprendizaje automático

Ya hemos comentado que, dada la imposibilidad de prever inicialmente la gran cantidad de situaciones de aprendizaje que se pueden presentar en cualquier proceso educativo, se presenta la conveniencia de realizar análisis más automáticos. Las técnicas de aprendizaje automático aparecen como respuesta a esta situación. Éste es un área que está teniendo gran auge hoy en día [Romero et al., 2007], aunque hasta el momento no se ha traducido en herramientas que permitan el uso directo por parte de los profesores.

La ayuda adaptativa que PDinamet brinda al profesorado se concreta en la construcción de dos tipos de modelos. Por un lado, modelos predictivos que sirvan al profesor para detectar o anticipar problemas en el proceso de aprendizaje del alumnado. Por otro lado, modelos descriptivos que permitan analizar o describir lo que ha sucedido en un determinado curso o situación de aprendizaje. Este tipo de modelos intentan encontrar relaciones y patrones de comportamiento en el conjunto de datos para ofrecer conocimiento sobre un problema determinado.

La construcción de estos modelos se basa en el tratamiento y análisis de la información almacenada en un SEA con el objetivo de lograr que los modelos elaborados sean tan precisos como sea posible y, al mismo tiempo, que puedan ser fácilmente interpretados por el profesorado. Otro factor de valoración del modelo proporcionado será el de considerar el grado de relevancia de la información

proporcionada por éste teniendo como meta u objetivo el de corregir, ayudar o mejorar el proceso de aprendizaje del alumnado.

5.1. Modelos predictivos en PDinamet

La tarea que se ha implementado en PDinamet es la de predecir si un alumno va a tener problemas en la nota final del tema (esto es, si va a aprobar el tema o no). Para realizar la experimentación se han utilizado los datos obtenidos de la aplicación de PDinamet en diversos institutos de educación secundaria con la participación de cerca de 260 estudiantes de 15 clases diferentes que han usado el sistema durante dos años académicos. Con los datos obtenidos se han aplicado diversas técnicas de modelado ya utilizadas con éxito anteriormente en sistemas educativos, como árboles de decisión y generación de reglas. Para la experimentación se ha utilizado las librerías disponibles en Weka [Witten et al., 1999].

Los datos de entrada que se han considerado hasta el momento incluyen tanto datos de formación y experiencia previa como datos de interacción, tales como datos de acceso (número total de visitas al sistema, número de sesiones, tiempo total en que el alumno ha trabajado con el sistema, etc.), uso de recursos de aprendizaje (e.g. porcentaje de uso de los diferentes recursos) y rendimiento (notas obtenidas por los alumnos en los diferentes conceptos del curso). Los atributos numéricos se han discretizado para simplificar la interpretación de los modelos que se obtengan.

Utilizando los algoritmos PART [Frank et al., 1998] y J48 (la implementación del algoritmo C4.5 en Weka [Quinlan, 1993]) la precisión alcanzada supera en todos los casos el 70% que, aunque puede resultar algo baja, es satisfactoria dentro del entorno de orientación al profesor. Esto nos proporciona un nivel de confianza adecuado a la hora de llevar a la práctica las decisiones que se deriven de la información extraída.

Para comprobar la utilidad del modelo para ayudar al profesor a predecir situaciones conflictivas se han explorado los modelos obtenidos. Así, se han podido seleccionar una serie de reglas de acuerdo a los siguientes criterios:

- Su relevancia en cuanto a la información que ofrece sobre el proceso de enseñanza aprendizaje.
- Su nivel de precisión, teniendo en cuenta lógicamente el número de casos que son descritos correctamente por ella, así como los casos de falsos positivos (alumnos que se ha creído que no tendrían problemas y que finalmente han suspendido).
- La sencillez y claridad en su expresión, buscando sobre todo que se establezcan límites claros en los antecedentes de la regla, así como que no existan contradicciones.

Como ejemplificación de algunas de las reglas más relevantes obtenidas se puede destacar la mostrada en la Figura 2a

- a. *tiempotrabajo* <= 10 AND
nivelgeneralprevio <= 5: 0 =>
Final '(-inf-3.99]' (94.0/7.0)
- b. (*duracionm1* >= 134) =>
final='(3.99-inf)' (113.0/29.0)

Figura 2. Reglas extraídas de los modelos aprendidos

En esta regla se pone de manifiesto que si el tiempo dedicado al estudio es escaso y su nivel general previo es pobre, el alumno tiene una gran probabilidad de no alcanzar una valoración mínima en la adquisición de los contenidos y procedimientos globales de la unidad. En la regla mostrada en la Figura 2b se establece un tiempo mínimo de trabajo efectivo total con el sistema para lograr un nivel mínimo de las metas propuestas y encontrarse en disposición de proseguir el trabajo con otras unidades.

Los resultados, aunque preliminares, demuestran que este dominio es propicio para la aplicación de este tipo de técnicas y, como veremos más adelante, la acogida de los profesores así lo corrobora.

5.2. Modelos descriptivos en PDinamet

Aunque se ha visto que los modelos predictivos proporcionan una herramienta de análisis potente, necesitan que se defina un objetivo de antemano (por ejemplo, si el alumno ha aprobado o no). No obstante, no siempre es posible definir un objetivo de

antemano sino que el objetivo es obtener conclusiones de la información disponible. En estos casos, son de utilidad los modelos descriptivos construidos mediante métodos no supervisados (en nuestro caso EM [Meila et al., 2001]). En PDinamet se han construido modelos descriptivos para proporcionar soporte al profesor en la evaluación del curso, pero esta vez sin centrarse en ninguna variable en particular. Esto es posible si se añaden diferentes interpretaciones a los grupos o clusters que nos permiten evaluar si ciertos patrones de comportamiento están relacionados con objetivos conocidos.

Para ayudar a los profesores en la interpretación de los diferentes modelos y facilitar su utilización se ha desarrollado una herramienta de visualización de los grupos obtenidos.

Un determinado atributo puede ser seleccionado como un atributo caracterizador externo o clase para ayudar a los profesores a interpretar los modelos. Esto añade una visión diferente a los clusters que permitirá evaluar si los patrones de comportamiento descubiertos están relacionados con objetivos ya conocidos (por ejemplo, si un alumno ha suspendido el curso). Este atributo es externo en el sentido de que no va a usarse durante el proceso de clustering.

Para ayudar al profesor en la inspección de los resultados, la herramienta de visualización muestra la distribución de los valores de cada atributo entre los clusters. Inicialmente se muestra la distribución del atributo externo o clase para obtener una interpretación inicial de los resultados. Como se puede observar en la Figura 3, para cada cluster y para cada valor diferente del atributo, se muestran segmentos de barras con colores diferentes que representan el número de alumnos que tienen ese valor en particular para ese atributo. Desde esta visión inicial, los profesores pueden empezar a inspeccionar la distribución del resto de atributos seleccionándolos de una lista.

Utilizando los datos mencionados en la sección anterior se ha utilizado esta herramienta y en la Tabla 1 se muestra un resumen de los patrones obtenidos para cada cluster, descritos en términos tanto de los atributos de entrada como del valor del atributo caracterizador (en este caso la nota final discretizada en dos valores, aprobado o suspenso). Los profesores

pueden usar esta información, por ejemplo, para identificar algunos de los efectos del comportamiento del grupo. Es importante destacar que aunque se ha utilizado esta herramienta para caracterizar a los alumnos que han sacado una nota baja en el tema de Dinámica, este mismo proceso puede realizarse en

cualquier momento, de modo que puede utilizarse tanto para obtener conclusiones al final del curso como para saber qué está pasando en momentos intermedios y poder solucionar posibles problemas en el momento.

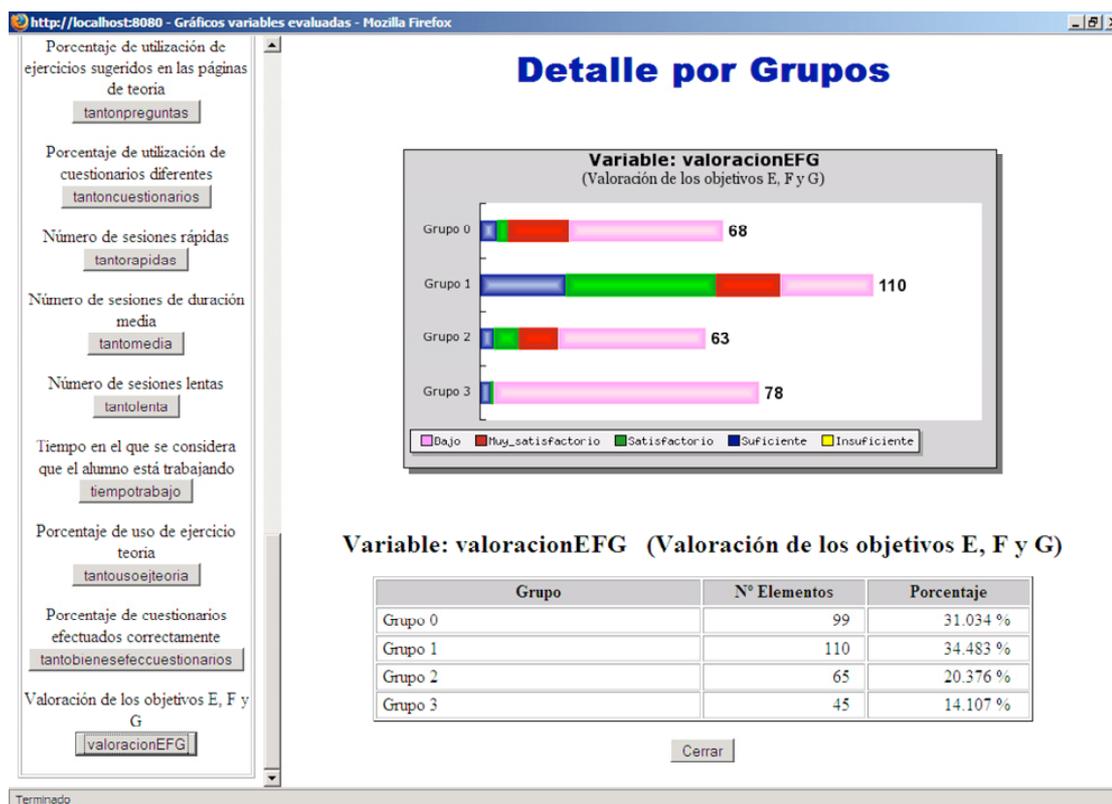


Figura 3. Relación de los grupos con la nota final (discretizada en cuatro valores: bajo, muy satisfactorio, satisfactorio, suficiente e insuficiente)

Ya hemos comentado anteriormente que además de proporcionar información valiosa al profesor sobre el estado del proceso de aprendizaje de sus alumnos el sistema debe permitirle intervenir cuando detecte alguna situación problemática. En la siguiente sección se describe cómo interviene el profesor en PDinamet.

6. Intervención del profesor en PDinamet

Las situaciones en la que el profesor debe intervenir son detectadas en PDinamet bien mediante los informes predefinidos o bien mediante los análisis obtenidos a partir de modelos predictivos o descriptivos. A partir de los modelos predictivos

obtenidos, el profesor puede elegir qué reglas son convenientes introducir en el recomendador.

Por otra parte, a partir de los informes predefinidos el profesor obtiene consejos sobre qué tipo de acción debe realizar. Estas acciones normalmente requieren proponer ejercicios adicionales. Estos recursos adicionales pueden ser los ya incluidos en PDinamet o puede ocurrir que el profesor desee añadir recursos de producción propia. De hecho, en la práctica docente, es habitual que un profesor disponga de una serie de materiales, tanto teóricos como prácticos, que constituyen el eje de actuación en la actividad que ha programado para el alumnado. Este eje o guía de actividad puede referirse a diferentes fuentes: libro de texto, apuntes propios del profesor, etc. La

heterogeneidad de los grupos así como las características individuales de los diferentes alumnos hacen que los materiales guías se deban flexibilizar: variando alguna explicación, proponiendo ejercicios

complementarios o incluyendo cualquier otra modificación que permita adaptarse a la realidad del alumnado.

Grupo (%)	Descripción	Externo
1 (0.21)	Concepto muy bueno en su nivel de partida, no han suspendido antes, notas anteriores muy buenas, no tienen problemas con conceptos básicos necesarios en la asignatura. Han entrado poco en el sistema pero cada sesión es de duración media y con un tiempo de trabajo elevado	Mixto (0.37/0.63)
2 (0.35)	Se consideran aplicados pero existe un alto porcentaje que cree que tiene poco nivel en la asignatura aunque en el pretest tienen muy buena nota en conocimientos previos, número muy alto de visitas al sistema, sobre todo para páginas de teoría y principalmente de duración media (y son los que más sesiones de duración lenta hay), mayor trabajo con el sistema	Aprobado (0.76/0.24)
3 (0.20)	Errores de partida en la materia. Muchas visitas al sistema sobre todo sesiones de duración media. Mucho estudio de teoría y uso de los ejercicios propuestos	Mixto (0.35/0.65)
4 (0.24)	AutoConcepción errónea de su nivel de partida. Poco estudio de teoría. Pocas vistas y rápidas	Suspense (0.05/0.95)

Tabla 1. Clusters obtenidos y su descripción de acuerdo a los atributos usados y a un atributo externo. (aprobado/suspense)

En este sentido PDinamet no puede ser ajeno a esta práctica docente y por ello debe ser estructural y funcionalmente flexible para responder a esta necesidad. Para ello, es fundamental que cada profesor pueda incorporar al sistema aquellos recursos que considere necesarios, y éstos estén disponibles para cada alumno concreto según su situación en el proceso de aprendizaje.

En PDinamet, el profesor puede contextualizar alguno de los recursos ya existentes o integrar sus propios recursos en el sistema estando disponibles éstos en cualquier situación en la que sean demandados. Los recursos en PDinamet se encuentran caracterizados por los siguientes atributos: aspectos generales (nombre del recurso, página donde se encuentra, tipo de ejercicio (teoría, autocorrectivo, etc.), objetivo al que hace referencia e indicador o competencia en el que se concreta y nivel de dificultad.

Para la definición de nuevos recursos propios de PDinamet, el profesor dispone de herramientas de autor que le permiten generar ejercicios tales como: talleres, cuestionarios, generadores de ejercicios o ejercicios de autoevaluación.

Estos nuevos recursos pueden utilizarse también cuando el profesor interacciona con los modelos descriptivos. En este caso, los profesores utilizan los modelos construidos para enriquecer los recursos que se recomiendan al alumno a través del recomendador. Cuando un profesor pincha una determinada porción de las barras de los gráficos obtenidos a partir de la herramienta de análisis descrita en la sección 5.2, se muestra la lista de alumnos incluidos en ese subgrupo. Entonces, el profesor puede asignar a esos alumnos algunos recursos adicionales (que han sido añadidos por él al sistema). Estos recursos se recomiendan sólo a esos alumnos. Esto es posible ya que cuando el profesor elige los recursos, la base de conocimiento del recomendador se actualiza añadiendo los predicados Prolog que le permiten realizar estas recomendaciones.

Finalmente, es importante comprobar el grado de validez de cada recurso adicional incluido en el sistema (óptimo, malo, indiferente...). En el caso de que se estime que ese recurso ha mejorado la situación inicial de partida, pasará a ser de interés general al que podrán acceder el resto de profesores bajo demanda. Dentro del planteamiento pedagógico

de PDinamet, y teniendo en cuenta que los diferentes recursos están asociados a objetivos concretos de la planificación didáctica general, la bondad del recurso estará asociada a la mejora o no del nivel alcanzado en el objetivo planteado cuyo nivel de consecución inicial no era óptima.

7. Evaluación

El sistema PDinamet tanto el módulo dirigido al profesorado, del que nos ocupamos en este artículo, como el dirigido al alumnado ha sido evaluado durante los cursos académicos 2004/2005 y 2005/2006¹. En esta evaluación han participado un total de 260 alumnos y 12 profesores. La recogida de información sobre el módulo del profesor durante el primer año de experimentación puso de manifiesto que el profesorado valoraba muy positivamente el hecho de disponer de datos actualizados de la situación del aprendizaje de cada alumno, así como la información que se proporcionaba. Además, se recogieron sugerencias sobre aquellos aspectos que debían mejorarse, resaltando la forma de acceso a la información así como la inclusión de informes globales tanto a nivel de actividad, alumno y grupo clase. Durante el segundo curso y una vez incluidos los resultados de la evaluación del primer año, se utilizó nuevamente el sistema. Cabe resaltar que del estudio de los resultados obtenidos por el profesorado que había trabajado durante los dos años consecutivos, se apreciaba una mejora significativa en los resultados obtenidos por el alumnado, tal y como se refleja en la Figura 4.

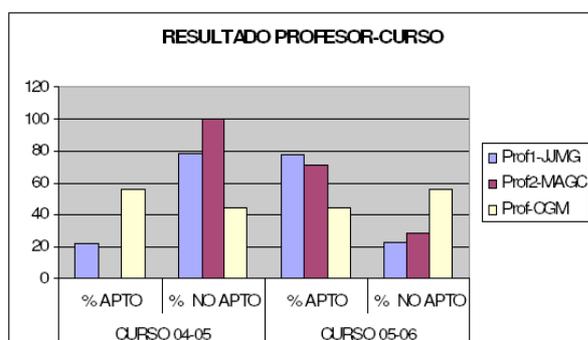


Figura 4. Resultados obtenidos por el alumnado

¹ Proyecto de cooperación en materia de investigación entre Departamentos Universitarios y el Profesorado de los niveles previos a la Universidad (convocatoria publicada en la Orden de 31 de marzo de 2004 (DOCM 30/07/04)).

Es evidente que durante el segundo curso se ha reducido considerablemente el porcentaje de alumnos que han sido evaluados negativamente. Asumiendo que no existen diferencias significativas entre el alumnado participante, puede ser importante destacar dos factores que puedan explicar esta situación: por un lado, la experiencia del profesorado con el material docente que constituye PDinamet así como en su aplicación en el aula; por otro lado, la utilización del módulo del profesor, que ha permitido que la actividad en el proceso de enseñanza aprendizaje del alumnado deje de ser una “caja negra”, obteniendo éste información individualizada de cada alumno y permitiendo una mayor implicación del profesor en la actuación docente que se está llevando a cabo.

Además de los resultados obtenidos en base al rendimiento de los alumnos, los profesores rellenaron un cuestionario final con el fin de evaluar la herramienta en su conjunto. Los aspectos que recogía este cuestionario eran: la satisfacción de los profesores con la herramienta, el nivel de uso, la usabilidad y la satisfacción con las reglas y clusters obtenidos mediante aprendizaje automático. La puntuación máxima era de 25 puntos y todos los aspectos fueron evaluados por encima de 16 puntos. El aspecto mejor valorado fue la satisfacción de los modelos aprendidos por el sistema por ajustarse a la percepción que los profesores tenían de sus alumnos. Por otra parte el aspecto peor valorado fue la usabilidad, posiblemente debido a los conocimientos que se necesitan para entender el proceso de análisis de las interacciones en su totalidad.

8. Conclusiones y Trabajos Futuros

En este artículo hemos visto que es necesario potenciar el papel que desempeña el profesor en los sistemas de educación adaptativos (aunque este papel debe ser potenciado igualmente en cualquier sistema de e-learning con o sin adaptación). A este respecto se han desarrollado dos herramientas que permiten potenciar el papel del profesor en un sistema adaptativo para aprendizaje de Física en educación secundaria. Estas herramientas, además de proporcionar informes de lo ocurrido en el curso, permiten al profesor intervenir de manera activa aportando nuevos recursos que se recomendarán a los

alumnos que el sistema detecte (mediante aprendizaje automático) que puede estar teniendo dificultades.

De la evaluación llevada a cabo y en la valoración global, efectuada al final del curso 2005/2006, se pueden destacar como aspectos muy positivos los siguientes puntos:

- Obtener información del proceso de aprendizaje del alumnado así como facilitar su control.
- Conocer no sólo los resultados si no también el proceso de aprendizaje llevado a cabo.
- La posibilidad de introducir recursos propios, de forma que el sistema los integre y facilite su acceso en el momento adecuado.
- Las ayudas y recomendaciones realizadas por el sistema se encuentran supervisadas por el profesor.

Es importante señalar que durante el proceso de evaluación comunicativa más de un 90% del profesorado valoró como muy positivo el hecho de poder disponer de unas herramientas como las aquí descritas.

De las líneas de trabajo futuro que se abren a continuación cabe destacar el continuar con el desarrollo de herramientas intuitivas que permitan analizar los modelos aprendidos por el sistema, en especial los modelos predictivos, ayudando al profesor a seleccionar aquellas reglas que pueden resultar más informativas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Programa de Investigación de la UNED (convocatoria 2006-2008) y por el Programa de Colaboración con Universidades (2004-2006) de la Consejería de Educación de la Junta de Comunidades de Castilla-la Mancha. Los autores quieren agradecer a los profesores de educación secundaria del Centro de Profesores de Albacete por su colaboración, apoyo e ideas durante el desarrollo de este proyecto

Referencias

[Burgos et al., 2006] Burgos, D., Tattersall, T. y Koper, R. Representing adaptive eLearning

strategies in IMS Learning Design. In TENCompetence Conference (2006).

[Brusilovsky, 2001] Brusilovsky, P. Adaptive hypermedia. User Modeling and User Adapted Interaction, Ten Year Anniversary Issue (Alfred Kobsa, ed.) 11 (1/2), 87-110 (2001)

[Brusilovsky et al, 2003] Brusilovsky, P. y Peylo, C. Adaptive and intelligent web-based educational systems” International Journal of Artificial Intelligence in Education, vol. 13, pp. 156–169, (2003).

[Camacho et al., 2007] Camacho, D. y Rodríguez-Moreno, M.D. (2007) Towards and Automatic Monitoring for Higher Education Learning Design, International Journal of Metadata, Semantics and Ontologies. Ed. By InderScience Publishers, Vol 1, nº Issue 4 (en prensa).

[De Bra et al., 1998] De Bra, P. and Calvi, L.. AHA! An open Adaptive Hypermedia Architecture. The New Review of Hypermedia and Multimedia, 4, 115-139. (1998)

[Frank et al., 1998] Frank, E. y Witten, I.H., Generating accurate rule sets without global optimization. Proceedings of the Fifteenth International Conference on Machine Learning, ICML98, pp. 144–151. (1998).

[Gaudioso et al., 2006] Gaudioso, E. y Talavera, L. Data mining to support tutoring in virtual learning communities: experiences and challenges. En Data Mining in e-learning, C. Romero and S. Ventura, Eds., 2006, pp. 157–171 (2006).

[Holt et al., 1994] Holt, P., Dubs, S., Jones, M. y Greer, J.E.. The state of student modelling. In J.E. Greer and G.I. McCalla, Student modelling: the key to individualized knowledge bases instruction, pp. 3-38, (1994).

[Jovanovic et al., 2007] Jovanovic, J. , Gasevic, D., Brooks, C., Devedzic, V. , Hatala, M. LOCO-Analyst: A Tool for Raising Teachers' Awareness in Online Learning Environments. In Proceedings of the 2nd European Conference on Technology Enhanced Learning, Crete, Greece, 2007, (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4753), pp. 112-126. (2007).

[Kosba et al., 2007] Kosba, E., Dimitrova, V., y Boyle, R. Adaptive feedback generation to support

- teachers in web-based distance education. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, vol. 17, no. 4, pp. 379–413, (2007).
- [Mazza et al., 2006] Mazza, R. y Dimitrova, V. Coursevis: A graphical student monitoring tool for facilitating instructors in web-based distance courses. *International Journal in Human-Computer Studies*, vol. 65, no. 2, pp. 125–139, (2006).
- [Meila et al., 2001] Meila, M. y Heckerman, D. An experimental comparison of model-based clustering methods. *Machine Learning* 42(1/2) 9–29 (2001).
- [Montero et al., 2005] Montero, M. y Gaudioso, E. PDinamet: A web-based adaptive learning system to assist learners and teachers. In Ghaoui, C., Jain, M., Bannore, V., Jain, L., eds.: *Knowledge-Based Virtual Education*. 23–48. (2005): Disponible en: <http://siea.ia.uned.es/publicationsPDinamet.html>
- [Montero et al., 2006] Montero, M. y Gaudioso, E. Sistemas de Enseñanza Adaptativos: Experiencias de PDinamet en la enseñanza de la Física. *Revista Didáctica, Innovación y Multimedia (DIM)*, Número 8. (2006)
- [Nghe et al., 2007] Nghe, N. , Janecek, P. y Haddawy, P. A comparative analysis of techniques for predicting academic performance,” in *Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Frontiers in Education: Computer Science & Computer*. (2007)
- [Quinlan, 1993] Quinlan, J.R. , C4.5: programs for machine learning. Morgan Kaufmann: San Francisco, CA, USA.(1993).
- [Romero et al., 2007] Romero, C. y Ventura, S. Educational data mining: a survey from 1995 to 2005. *Expert Systems with Applications* 33:1 135-146 (2007).
- [Silva et al., 2002] Silva, D. y Pires, M. Using data warehouse and data mining resources for ongoing assessment of distance learning,” in *Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, Kazan, Russia, 2002*, pp. 40–45. (2002).
- [Sison et al., 1998] Sison, R., Numao, M., y Shimura, M., Discovering error classes from discrepancies in novice behaviors via multistrategy conceptual clustering. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, vol. 8, no. 1–2, pp. 103–129 (1998).
- [Soller et al., 2005] Soller, A., Martinez, A., Jermann, P. y Muehlenbrock, M. From Mirroring to Guiding: A Review of State of the Art Technology for Supporting Collaborative Learning. *International Journal on Artificial Intelligence in Education*. 15, 261-290. . (2005)
- [Stathacopoulou et al., 2007] R. Stathacopoulou, M. Grigoriadou, M. Samarakou, and D. Mitropoulos, Monitoring students’ actions and using teachers’ expertise in implementing and evaluating the neural network-based fuzzy diagnostic model. *Expert Systems with Applications*, vol. 32, no. 4, pp. 955–975, (2007).
- [Tang et al, 2000] Tang, C., Lau, R., Li, Q., Yin, H., Li, T., y Kilis, D., Personalized courseware construction based on web data mining. En *Proceedings of the First IEEE International Conference on Web Information Systems Engineering*, vol. 2, pp. 204–211.(2000).
- [Wenger, 1987] Wenger, E. *Artificial Intelligence and Tutoring Systems*. Morgan Kaufmann. (1987).
- [Witten et al., 1999] Witten, I.H. y Frank, E. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations*. Morgan Kaufmann: San Francisco, CA, USA. (1999).
- [Zorrilla et al., 2007] M.E. Zorrilla, D. Marín, E. Álvarez. Towards Virtual Course Evaluation Using Web Intelligence. En *Computer Aided Systems Theory - EUROCAST 2007, 11th International Conference on Computer Aided Systems Theory*. R. Moreno-Díaz, F. Pichler, A. Quesada-Arencibia (Eds.) Revised Selected Papers. *Lecture Notes in Computer Science* 4739 Springer (2007).