

**Estudio bibliográfico de sistemas educativos en el  
ámbito de la inteligencia artificial**

Samara Ruiz, Maite Urretavizcaya e Isabel Fernández  
de Castro

UPV/EHU / LSI / TR 02-2012

UPV-EHU

# Estudio bibliográfico de sistemas educativos en el ámbito de la inteligencia artificial

---

**Samara Ruiz, Maite Urretavizcaya, Isabel Fernández de Castro**

# CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	4
1.1	Contextualización .....	4
1.2	Marco de trabajo.....	5
1.3	JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO .....	6
2	VISIÓN HISTÓRICA DE LOS TUTORES INTELIGENTES .....	9
2.1	Arquitectura clásica de los STI.....	9
2.1.1	Módulo del dominio.....	10
2.1.2	Módulo del alumno .....	11
2.1.3	Módulo pedagógico.....	12
2.1.4	Módulo de comunicación.....	12
2.2	Repaso histórico de STI .....	13
2.2.1	Sistemas de enseñanza: .....	13
2.2.2	Herramientas de autor para la construcción de STI.....	14
2.2.3	Visión comparativa de los modelos.....	14
3	SISTEMAS EDUCATIVOS PARA LA WEB .....	17
3.1	Sistemas de gestión del aprendizaje .....	17
3.1.1	Desarrollo de contenidos .....	19
3.1.2	Administración .....	20
3.1.3	Evaluación y seguimiento de los alumnos.....	20
3.1.4	Comunicación.....	21
3.1.5	Producción.....	22
3.1.6	Colaboración entre estudiantes .....	22
4	Sistemas inteligentes de aprendizaje en la web .....	24
4.1	AHA! .....	24
4.1.1	Arquitectura de AHA! .....	25
4.1.2	Autoría en AHA! .....	26

4.2	DCG.....	27
4.2.1	Arquitectura de DCG .....	28
4.2.2	Autoría en DCG.....	30
4.3	Interbook.....	31
4.3.1	Arquitectura de Interbook .....	31
4.3.2	Autoría en Interbook.....	33
4.4	MAGADI.....	33
4.4.1	Arquitectura de MAgAdI .....	34
4.4.2	Autoría en MAgAdI.....	36
5	HERRAMIENTAS DE AYUDA AL PROFESOR.....	37
5.1	Adapte .....	37
5.2	LOCO-Analyst.....	39
5.3	The Classroom Sentinel .....	41
5.3.1	Arquitectura de Classroom Sentinel .....	42
5.4	Teacher Advisor.....	44
5.4.1	Modelado de estudiantes en TADV.....	46
5.4.2	Generador de avisos en TADV:.....	47
5.5	EPRules .....	47
5.6	SlgBLE - SlgMa .....	49
6	MODELADO DEL USUARIO .....	53
6.1	Características del usuario como un individuo .....	53
6.1.1	Conocimiento .....	53
6.1.2	Intereses.....	55
6.1.3	Metas y tareas.....	56
6.1.4	Experiencia .....	56
6.1.5	Rasgos individuales .....	57
6.2	Contexto actual del trabajo del usuario.....	60
6.2.1	Plataforma, Localización y Contexto .....	60
6.2.2	Estado afectivo .....	61
7	ANÁLISIS DE DATOS.....	63
7.1	Proceso de análisis de datos en la información e-learning.....	64
7.2	Técnicas de análisis de datos en sistemas de aprendizaje.....	63

7.2.1	Moodle: Caso a estudio y Método para análisis .....	68
8	BIBLIOGRAFÍA.....	70

# 1 INTRODUCCIÓN

En este informe presentamos un estudio bibliográfico de sistemas educativos en el ámbito de la inteligencia artificial. En particular se centra en los siguientes aspectos: tutores inteligentes, sistemas educativos para la web y herramientas de ayuda al profesor. Además se incluye una revisión del modelado de usuario y un estudio de técnicas para el análisis de datos.

La razón que motiva este informe es la de reunir en un documento la revisión bibliográfica realizada como base necesaria para el desarrollo de la tesis doctoral.

## 1.1 CONTEXTUALIZACIÓN

Nuestra investigación se enmarca en los trabajos del grupo GALAN de la Facultad de Informática de San Sebastián de la UPV-EHU, que se dedica desde sus comienzos al desarrollo de herramientas educativas flexibles dotadas de comportamiento inteligente. Dos ejemplos de estas herramientas son Magadi [Álvarez et al., 2009] y SigMa [Martín et al., 2009].

Magadi es un sistema adaptativo multi-agente de apoyo al aprendizaje en un marco que combina interacciones cara a cara entre profesor y alumnos con actividades online (blended learning). Este entorno proporciona actividades de entrenamiento adaptadas a estudiantes en varios dominios y asignaturas. Su mecanismo de adaptación tiene en cuenta el conocimiento adquirido por el alumno y sus interacciones previas. Para ello el sistema integra las características del aprendizaje del alumno que infiere automáticamente, con aquellas detectadas por el profesor en interacciones cara a cara durante sesiones tradicionales de aprendizaje (más detalles en 4.4).

Por su parte, SigMa fue desarrollada con el objetivo de estudiar las interacciones entre los participantes de un sistema educativo para descubrir las dificultades, deseos y estrategias que puedan ser útiles para el proceso completo de aprendizaje. SigMa analiza automáticamente los datos de sus interacciones con los alumnos (proporcionados por Magadi) para que los profesores conozcan con mayor facilidad el desarrollo del curso. Además sugiere una serie de posibles cambios y mejoras en el entorno de aprendizaje (más detalles en 5.6).

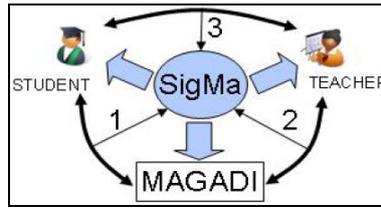


FIGURA 1. INTERACCIONES ENTRE MAGADI Y SIGMA

Magadi y SigMa recogen las interacciones entre ambos sistemas y las personas participantes en el entorno, profesores y alumnos (Figura 1). Sin embargo, la información relevante sobre las interacciones entre los profesores y los estudiantes en sesiones cara a cara o tutorías, debe ser almacenada explícitamente por los profesores, lo cual no es una tarea inmediata ni evidente. Además, la búsqueda de información sobre el comportamiento de los estudiantes es un campo de investigación abierto y en crecimiento, dando lugar a sistemas de blended-learning en los cuales se combina el aprendizaje presencial con el aprendizaje online.

## 1.2 MARCO DE TRABAJO

Se han realizado diferentes estudios en esta área dando lugar a varias herramientas de ayuda al profesor, pero ninguna cubre explícitamente los aspectos relacionados con las sesiones cara a cara en el aula o en tutorías personalizadas. Por ello, el objetivo principal de la tesis es:

***Crear un entorno que permita a profesores y alumnos reunir las interacciones más relevantes entre ellos en las sesiones típicas de aprendizaje, facilitando la inserción de los aspectos importantes de los alumnos. La finalidad del sistema es doble. Por un lado, ayudar al profesor en la planificación docente diaria y en el seguimiento de sus alumnos a través de aspectos como el interés o participación de un alumno o grupos de alumnos en diferentes temas, los problemas que puedan surgir en la realización de ejercicios, comprensión de los temas o el probable abandono de la asignatura entre otras. Por otro lado y desde el punto de vista del alumno le permitirá ver su progreso y su comparación con el grupo.***

De esta manera, el profesor tendría la opción de realizar planificaciones individualizadas de sus clases en función de la información individual o por grupos o, incluso tratar de motivar a cada uno de ellos en función, por ejemplo, de su estilo de aprendizaje y demás características recogidas.

Otro objetivo deseable del trabajo se centra en aspectos de colaboración entre profesores que comparten un mismo curso y grupo de alumnos. Aspectos como el conocimiento general del progreso de sus alumnos en el curso lectivo, las actividades de aprendizaje diseñadas que coinciden en períodos e implica excesiva carga cognitiva y quizás recomendaciones de períodos más favorables, etc. Es decir, se pretende el desarrollo de un entorno tanto de ayuda a la gestión de su docencia, como de seguimiento de alumnos mediante el feedback adecuado.

Su desarrollo se integrará con los sistemas específicos Magadi y SigMa. También con otros sistemas online de aprendizaje más extendidos como Moodle (actualmente utilizado en la UPV-EHU). La interacción en un entorno como Moodle sugiere que será más fácilmente evaluable. Una vez integrada, el conocimiento que los profesores aporten sobre cada uno de sus alumnos mediante la nueva herramienta, enriquecerá las bases de conocimiento de estos sistemas, ya sea el entorno Magadi-Sigma, o bien Moodle. Crearemos así, un entorno completo que cubra también las líneas de interacción entre los profesores y alumnos en las sesiones de aprendizaje cara a cara (Figura 2). Como por ejemplo tutorías asociadas al propio sistema, marcando cuando un tema no se ha entendido adecuadamente, y asociando las dudas o problemas con los conceptos, ejemplos, ejercicios, definiciones, transparencias, etc.

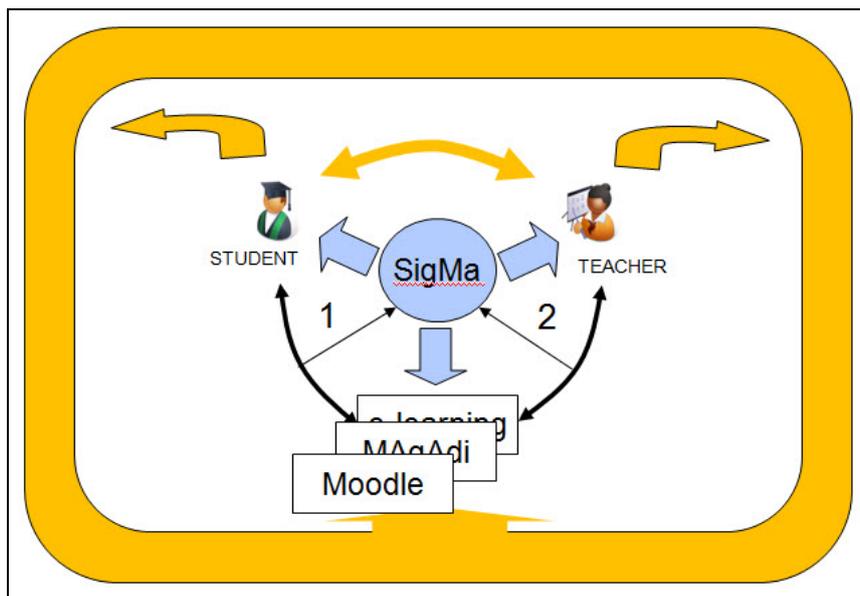


FIGURA 2. INTERACCIONES DE LA NUEVA HERRAMIENTA

Aunque el enfoque inicial del entorno va asociado y es complementario a un entorno online, también se estudiará sus posibles ampliaciones en entornos totalmente presenciales como herramienta independiente.

El informe que presentamos trata de cubrir las diversas líneas de investigación que abarca el trabajo contextualizado y enmarcado en este capítulo.

## 1.3 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Como las líneas de investigación se enmarcan en el ámbito de la informática educativa dedicaremos un capítulo (capítulo 2) al estudio de los primeros sistemas desarrollados. Comenzamos por tanto, realizando un acercamiento a los primeros sistemas tutores inteligentes, conociendo así la evolución de la informática educativa hasta la actualidad. Estudiaremos en primer lugar la arquitectura de estos sistemas, que a pesar del tiempo

transcurrido desde su creación, ésta sigue vigente en nuestros días. Y finalmente presentaremos una breve revisión bibliográfica de estos primeros tutores.

Gracias a las nuevas tecnologías de la información y comunicación, y sobre todo, a las facilidades ofrecidas por Internet, la informática educativa ha ido evolucionando desde estos sistemas tutores inteligentes por dos caminos distintos, dando lugar a dos clases de sistemas: Los sistemas de gestión de aprendizaje y los sistemas de enseñanza adaptativos para la web. En el capítulo 3 nos detendremos en el estudio de ambos.

Los primeros (estudiaremos tres de los más utilizados: Moodle, Blackboard y Scholar360) proporcionan una serie de herramientas para la creación, seguimiento y administración de cursos a través de la web. Son entornos muy utilizados en el ámbito universitario (donde se centra nuestro trabajo) y de gran ayuda en la gestión del aprendizaje, sin embargo, son insuficientes a la hora de adaptarse a cada alumno en particular. Y de esta necesidad de personalizar el aprendizaje surgen los sistemas de enseñanza adaptativos para la web (SEAW). Los SEAW han nacidos de la unión de los Sistemas Tutores Inteligentes y la Hipermedia Adaptativa y tratan de proporcionar al alumno ayuda inteligente y personalizada orientándolo y asistiéndolo en su navegación a través del hipertexto. Estudiaremos en este punto los sistemas AHA!, DCG, Interbook, y dedicaremos también un apartado al sistema Magadi.

En el capítulo 4 veremos el estado del arte en lo que se refiere a herramientas de ayuda al profesor. Estudiaremos así, las líneas de investigación abiertas por estos sistemas para descubrir necesidades no cubiertas y que puedan resultar beneficiosas tanto para el profesor como para sus alumnos. Nos centraremos en los sistemas Adapte, LOCO-Analyst, The Classroom Sentinel y Teacher Advisor, y finalmente estudiaremos en mayor profundidad el sistema Sigma.

Como en nuestra propuesta queremos modelar las interacciones presenciales entre alumnos y profesores, las surgidas fuera del entorno online (aulas, tutorías y demás formas de comunicación), alimentaremos el modelo del estudiante con los procesos de razonamiento del profesor y las descripciones de las interacciones con sus características más relevantes. Por tanto, un punto importante en el que nos centraremos en este informe y a lo largo de todo nuestro trabajo es el modelado de usuario (capítulo 5). La adaptación y ayuda que realiza este tipo de sistemas se basa en la información de su modelo de usuario, de las características individuales del alumno, así como del conocimiento que éste tenga sobre la materia. Las características principales que generalmente se modelan son: el conocimiento, los intereses, las metas y tareas, la experiencia y los rasgos individuales. Nosotros vamos a prestar especial atención a características particulares, como por ejemplo, los estilos de aprendizaje o los estilos cognitivos, así como los estados afectivos, ya que dichas características influyen en gran medida a la hora de interactuar con el profesor.

Además con el objetivo de obtener conclusiones sobre la información recogida en los modelos, dedicaremos una sección (capítulo 6) al estudio de técnicas para el análisis de datos. Estas permitirán no solo extraer información, sino también evaluar la propia herramienta. Estudiaremos las diversas técnicas que nos permitan analizar los datos proporcionados por

alumnos y profesores sobre sus interacciones presenciales para de esa manera poder ofrecer un feedback adecuado. Este análisis podremos presentarlo, por ejemplo, en forma de gráficos de evolución de un alumno en concreto o de grupos de alumnos. Prestaremos especial atención a las técnicas utilizadas para analizar los datos del sistema Moodle.

Finalmente el capítulo 7 incluye la bibliografía consultada.

# 2 VISIÓN HISTÓRICA DE LOS TUTORES INTELIGENTES

Los primeros sistemas CAI (Computer-Assisted Instruct) comenzaron a desarrollarse en los años 50 y 60. Su arquitectura se basaba en una serie de textos y cuestionarios y en un conjunto de reglas que representaban la experiencia pedagógica de uno o varios profesores. El principal problema de estos sistemas era su extremada rigidez y la falta de adaptación al conocimiento de cada alumno.

A partir de los años 70 se comienzan a usar técnicas de Inteligencia Artificial, que permiten la adaptación de los sistemas a las necesidades del alumno, surgiendo así los primeros Sistemas Tutores Inteligentes (STI). Podemos definir los sistemas tutores inteligentes como programas con la finalidad de ofrecer una enseñanza personalizada y adaptable al alumno. Como si de un profesor humano se tratase, determina qué conocimientos son necesarios aprender o trabajar dependiendo del nivel de conocimiento del alumno. Para ello, es necesario manejar información sobre el dominio, el alumno y las estrategias de instrucción, es decir, sobre qué se va a enseñar, a quién se va a enseñar y cómo se va a enseñar.

A continuación presentamos la arquitectura clásica de los tutores inteligentes con sus características principales. Seguidamente, realizamos un repaso histórico de los sistemas en [Wenger, 1987], [Fernández, 1998] y [Trella, 2006].

## 2.1 ARQUITECTURA CLÁSICA DE LOS STI

La arquitectura general de un sistema tutor inteligente se compone de cuatro módulos (para poder recoger la información sobre qué, a quién y cómo se va a enseñar): el dominio, el alumno y el pedagógico, completado con el módulo de comunicación (Figura 1). En el modelo del dominio se almacena la información sobre la materia que se quiere impartir, es decir, qué se va a enseñar. El modelo del alumno contiene toda la información referente a los alumnos y las interacciones que estos realizan con el sistema, es decir, a quién se enseña. El módulo pedagógico se encarga de planificar y controlar las diferentes sesiones de enseñanza y aprendizaje del alumno, adaptándolas según su conocimiento del dominio, esto es, cómo se va a enseñar. Y finalmente, mediante el módulo de comunicación, el alumno interactúa con el sistema, realizando las tareas encomendadas por el tutor.

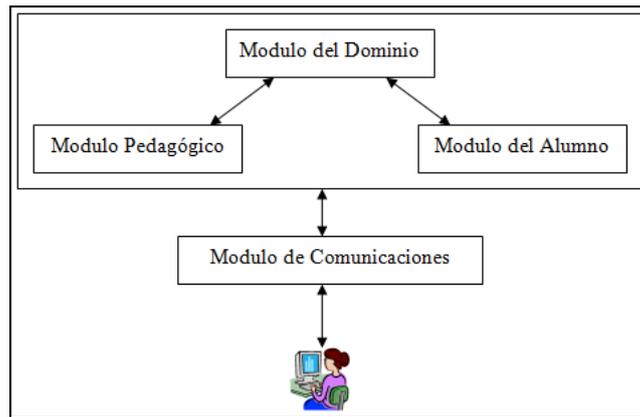


FIGURA 3. ARQUITECTURA CLÁSICA DE LOS STI

### 2.1.1 MÓDULO DEL DOMINIO

El módulo del dominio o del experto contiene el conocimiento de la materia que se quiere enseñar. Se utiliza para presentar el material de estudio al alumno, generar explicaciones, cuestiones y sus respuestas, proponer problemas y evaluar sus soluciones, y responder a eventuales preguntas del alumno.

En [Anderson, 1988] se clasifican los módulos del dominio en tres grandes grupos dependiendo de su diseño: modelos de caja negra, de caja de cristal y cognitivos (Figura 4).

Los **modelos de caja negra** pueden generar y resolver problemas pero los pasos seguidos para obtener la solución no están disponibles. Un ejemplo de ello, es un tutor de ajedrez que elige un movimiento entre millones de jugadas posibles, y no serviría de nada mostrarle al alumno como ha llegado a la solución, ya que los humanos no razonamos del mismo modo.

Los **modelos de caja de cristal** utilizan una representación del conocimiento del dominio que permite ofrecer al alumno explicaciones razonadas sobre cómo llegar a la solución de un problema.

Por último, los **modelos cognitivos** intentan representar las estructuras cognitivas y el modo de razonar sobre ellas de un humano. El problema de estos módulos es que son muy costosos en tiempo de desarrollo, lo que puede hacerlos inviables. Dentro de los modelos cognitivos, se puede representar conocimiento de tres tipos: conocimiento procedimental, declarativo y cualitativo.

El *conocimiento procedimental* es el conocimiento sobre cómo desarrollar una tarea, y se suele representar mediante un sistema de reglas de producción que está estrechamente relacionado con el dominio. Generalmente cada regla es una unidad de conocimiento que puede transmitirse al alumno de forma independiente. Por ello cuando un alumno comete un error se determina cuál ha sido éste verificando qué regla no se ha aplicado. Una ventaja de esta aproximación es que realiza un seguimiento exhaustivo de las acciones del alumno,

detectando el momento preciso en el que se ha cometido un error al separarse de la solución correcta.

El *conocimiento declarativo* se expresa mediante una serie de hechos organizados adecuadamente sobre los que se puede razonar. Generalmente se representa este conocimiento mediante una red semántica donde cada nodo representa conceptos o unidades de conocimiento, y los arcos las relaciones entre ellos.

Y finalmente, el *conocimiento cualitativo* está relacionado con la habilidad mental para simular y razonar sobre relaciones espaciales y procesos dinámicos. Es decir, tiene la capacidad de razonar sobre la estructura de un dispositivo y detectar problemas en su funcionamiento. La construcción de un modelo causal implica la representación de la estructura del dispositivo y la simulación del proceso en ese modelo.

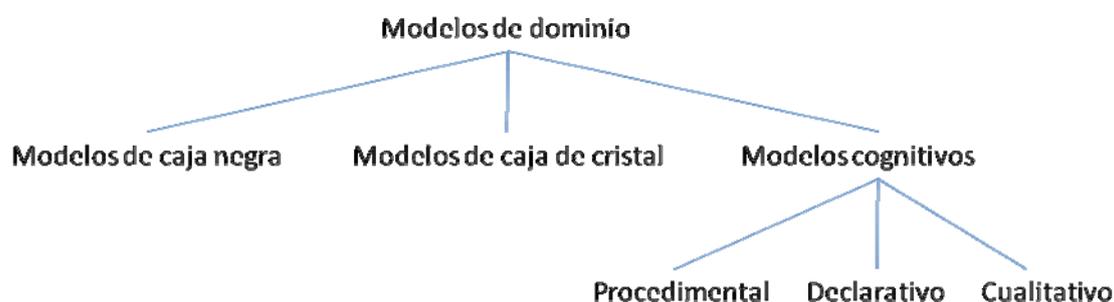


FIGURA 4. CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE MODELOS DEL DOMINIO

### 2.1.2 MÓDULO DEL ALUMNO

El módulo del alumno contiene el conocimiento del alumno acerca del dominio de enseñanza y sobre otros parámetros que influyen en el proceso de enseñanza como las características particulares del alumno (progreso, motivación, estados de ánimo, intereses, etc.). Estos parámetros son complicados de representar y recae en el área de psicología educativa, por lo que la mayoría de los STI se centran en la representación del alumno acerca del dominio [Trella, 2006].

El objetivo del modelo del alumno es inferir el conocimiento que el alumno tiene del dominio a partir de las interacciones que éste realiza con el sistema. A este proceso de inferencia se le denomina diagnóstico y se encarga de mantener y actualizar la información del modelo del alumno que se usará para tomar decisiones durante el proceso de enseñanza, adaptando los conceptos presentados al alumno en función del conocimiento almacenado en su modelo.

Existen varias formas de representar el conocimiento en el modelo del alumno: modelo overlay, modelo diferencial, modelo de perturbación, biblioteca de errores y modelo basado en restricciones.

En el **modelo overlay** el conocimiento del alumno es un subconjunto del módulo del dominio. Las diferencias entre uno y otro son una falta del conocimiento del alumno.

El **modelo diferencial** representa explícitamente el conocimiento correcto adquirido por el estudiante y el conocimiento que tiene el experto pero que no posee el alumno.

El **modelo de perturbación** representa el conocimiento correcto adquirido por el estudiante más las desviaciones conceptuales producidas en el aprendizaje. Por lo tanto, en el modelo anterior se representan las carencias del alumno frente al experto, mientras que en este modelo se representan los conceptos erróneos que éste posee.

La **biblioteca de errores** es un catálogo que recoge los fallos comunes de los alumnos en el estudio del dominio, y se realiza mediante un análisis manual del comportamiento de los alumnos, o generándolos a partir de otras bibliotecas de errores.

Finalmente, el **modelo basado en restricciones** representa el conocimiento mediante una lista de restricciones sobre el estado de los problemas. El modelo del alumno está formado por las restricciones que el alumno ha transgredido en el proceso de resolución del problema. El modelo del alumno de SQL-Tutor [Mitrovic et al., 1999], un sistema tutor para enseñar el lenguaje de consulta de bases de datos SQL, está basado en restricciones.

### **2.1.3 MÓDULO PEDAGÓGICO**

La finalidad del módulo pedagógico es permitir y facilitar la planificación y control de los procesos de aprendizaje del alumno, encargándose de adaptar la enseñanza que éste recibe. Este módulo toma decisiones acerca de la mejor estrategia de instrucción para cada alumno basándose en su conocimiento en cada momento. Es decir, proporciona la mejor secuenciación posible del material que se le presenta al alumno, y a su vez selecciona el método más adecuado de representación.

El diseño de la instrucción no es una ciencia exacta ya que son muchos los parámetros que influyen en el proceso de aprendizaje. Por ello, existe una gran variedad de técnicas y criterios de planificación en el diseño de la instrucción del alumno a la hora de construir un STI.

Los investigadores en el campo de los STI han basado sus trabajos en teorías cognitivas o en teorías colaborativas y de aprendizaje social [Bourdeau et al., 2010]. Las teorías principales que se han utilizado como fuentes del conocimiento pedagógico han sido propuestas por los siguientes teóricos educativos: Bloom [Bloom et al., 1956], Anderson [Anderson, 1983], Gagné [Gagné, 1985] y Ausbel [Ausbel, 1968]. En [Barab, 2006] se recogen las principales fuentes del conocimiento pedagógico.

### **2.1.4 MÓDULO DE COMUNICACIÓN**

El módulo de comunicación se encarga de la interacción entre el alumno y el sistema tutor. Se trata de una interfaz, generalmente en lenguaje natural, gráfica o mezcla de ambas, que gestiona la interacción en ambos sentidos. Por un lado, el tutor plantea una serie de órdenes, problemas, preguntas, sugerencias, etc. y por otro lado, el alumno realiza dichas tareas, hace preguntas, etc.

Gracias a las nuevas tecnologías, como por ejemplo la hipertexto y multimedia, y al avance del procesamiento de lenguaje natural, se ha evolucionado enormemente en el aspecto de la comunicación en los STI.

## 2.2 REPASO HISTÓRICO DE STI

En esta sección se hace una breve recopilación de los STI más representativos con el fin de revisar los módulos anteriores. En primer lugar se presentan los sistemas más representativos de los primeros años de investigación en el ámbito de los STI. Todos estos sistemas han sido pioneros en la aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial en el campo de la educación como el aprendizaje basado en el diálogo (SCHOLAR, WHY), en modelos causales (SOPHIE), modelos de procedimientos incorrectos (bugs), estrategias de intervención (WEST, WUSOR) o sistemas de diagnóstico (GUIDON). En segundo lugar se presentan algunos sistemas que desarrollan arquitecturas genéricas y herramientas de autor para la construcción de sistemas tutores (IDE, IRIS, REEDEM, RIDES, EON).

### 2.2.1 SISTEMAS DE ENSEÑANZA:

**SCHOLAR** [Carbonell, 1970] es el primer sistema instructor en utilizar técnicas de Inteligencia Artificial. Es un sistema basado en el diálogo en el que tanto el tutor como el alumno pueden tomar la iniciativa de la conversación y hacer preguntas. El dominio de enseñanza es la geografía sudamericana, pero tanto el esquema de representación del dominio como las estrategias de enseñanza utilizadas en el sistema son aplicables a otros dominios.

**WHY** [Stevens et al. 82] es un sistema en el dominio de la meteorología que enseña acerca de las posibilidades de lluvias y los factores que en ellas influyen. La complejidad del dominio produce en el estudiante una gran variedad de errores conceptuales que deben resolverse mediante diálogos interactivos.

**SOPHIE** [Brown et al. 1975] es un STI cuyo objetivo es enseñar a un alumno a encontrar averías en un circuito electrónico. El sistema proporciona un diagrama del circuito y establece un diálogo en el que el alumno puede realizar medidas y proponer hipótesis acerca de la localización del fallo. Cuando el alumno propone una posible causa del fallo el sistema se asegura de que la suposición es correcta haciéndole preguntas.

**WEST** [Burton et al. 82] proporciona un entorno de juegos para el desarrollo matemático, con ejercicios de habilidad aritmética a nivel elemental. El objeto del juego es que el jugador se mueva a través de un tablero tantas casillas como la cantidad que se obtenga al evaluar una expresión aritmética que el estudiante puede escribir y resolver. El programa describe los movimientos y técnicas que el jugador podría haber utilizado para mejorar su juego.

**WUSOR** [Carr et al. 1977] es un sistema para enseñar a jugar a WUMPUS, un juego en el que hay que atrapar y matar al malvado Wumpus que se esconde en una cueva dentro de un laberinto. El sistema enfrenta al jugador a diversas dificultades que debe ir superando. El<sup>13</sup>

juego se pierde si se cae en un foso, se entra caminando en la guarida de Wumpus o se dispara todas las flechas disponibles sin dar en la diana. El jugador debe poner en práctica conocimientos y habilidades sobre lógica, teoría de la decisión y geometría

**GUIDON** [Clancey, 1979] es un STI para enseñar a resolver problemas de diagnóstico de enfermedades infecciosas basado en el sistema MYCIN. GUIDON establece con el alumno un diálogo sobre un paciente con alguna infección, mostrándole los datos clínicos y del laboratorio más relevantes, y enseñándole cómo usarlos para diagnosticar el organismo causante de la infección.

**BUGGY** [Brown et al. 1978] es un STI cuya función es identificar los errores conceptuales de un alumno sobre habilidades aritméticas básicas. El sistema proporciona un mecanismo para explicar por qué un alumno está cometiendo un error aritmético.

### **2.2.2 HERRAMIENTAS DE AUTOR PARA LA CONSTRUCCIÓN DE STI**

**IDE** [Russell et al. 1988] es un sistema para ayudar en la tarea de diseño de cursos, estructuración de los contenidos y creación de secuencias de instrucción para la distribución del material.

**IRIS** [Arruarte, 1998] es un entorno para la construcción de STI siguiendo los requerimientos especificados por el instructor humano a través de diferentes ventanas gráficas. Los tutores construidos con IRIS se desarrollan bajo una filosofía modular para poder generar software reutilizable.

**REEDDEM** [Major et al., 1997] es un conjunto de herramientas formado por tres módulos principales: catálogos de cursos, herramientas de autor y entorno de instrucción.

**RIDES** [Munro et al., 1997] es una aplicación para crear y ejecutar simulaciones gráficas interactivas. Los autores pueden construir modelos gráficos interactivos de dispositivos u otros sistemas complejos y construir lecciones en el contexto de esos modelos gráficos. Los estudiantes aprenden con estos tutores cómo operar con los dispositivos.

**EON** [Murray, 1998] es un sistema de autor que se basa en la arquitectura de sistemas comerciales existentes para la generación de sistemas CAI. Eon analiza los componentes que deben ser añadidos a tales arquitecturas para que, manteniendo la misma filosofía de generalidad y amigabilidad, sirvan para obtener sistemas inteligentes de enseñanza asistida por ordenador.

### **2.2.3 VISIÓN COMPARATIVA DE LOS MODELOS**

Una vez vista una breve descripción de las principales funcionalidades de estos tutores y de diversas herramientas de autor para la construcción de STI, presentamos unas tablas comparativas sobre las clasificaciones de sus modelos de dominio, alumno y los aspectos más destacables de los planificadores de instrucción que incluyen sus arquitecturas.

	Modelos de caja negra	Modelos de caja de cristal	Modelos cognitivos		
			Declarativos	Procedimentales	Causales
SCHOLAR			X		
WHY					X
SOPHIE	X		X		X
WEST	X				
WUSOR		X			
GUIDON		X			
BUGGY				X	
IDE			X	X	
IRIS			X	X	
REEDEM			X		
RIDES					
DGC			X		
EON			X		

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE LOS STI MÁS IMPORTANTES SEGÚN SUS MODELOS DEL DOMINIO [TRELLA, 2006]

	Modelos overlay	Modelos diferenciales	Modelos de perturbación	Modelos basados en restricciones
SCHOLAR	X			
WHY				
SOPHIE	X			
WEST		X		
WUSOR	X			
GUIDON	X			
BUGGY			X	
IDE	X			
IRIS	X			
REEDEM	X			
RIDES	X			
EON	X			
SQL-Tutor				X

TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE LOS STI MÁS IMPORTANTES SEGÚN SUS MODELOS DEL ALUMNO [TRELLA, 2006]

	Control de oportunidad como estrategia global	Planes con varios niveles de refinamiento	Reglas basadas en la experiencia de tutores humanos	Reglas basadas en principios pedagógicos	Basada en las relaciones de la red semántica del dominio	Basada en el diálogo	Independiente del dominio	Preestablecida por el autor del sistema
SCHOLAR	X				X	X	X	
WHY			X			X	X	
SOPHIE						X		
WEST	X		X	X	X			
WUSOR	X		X					
GUIDON	X		X	X		X	X	
BUGGY								
IDE		X		X	X		X	X
IRIS		X	X		X			
REEDM		X	X					X
RIDES								X
EON		X						X

TABLA 3. CLASIFICACIÓN DE LOS STI SEGÚN LOS ASPECTOS MÁS DESTACABLES DE LOS PLANIFICADORES DE INSTRUCCIÓN QUE INCLUYEN SUS ARQUITECTURAS [TRELLA, 2006]

# 3 SISTEMAS EDUCATIVOS PARA LA WEB

Como se ha comentado en el capítulo anterior, los primeros sistemas tutores han evolucionado enormemente gracias a la tecnología y las facilidades aportadas por Internet. Desde finales de los 90 la web se ha convertido en un medio fundamental para el desarrollo de sistemas de enseñanza. Entre la amplia variedad de entornos educativos desarrollados en la web podemos distinguir dos grandes grupos: los sistemas de gestión de aprendizaje (LMS, Learning Management Systems) y los entornos de aprendizaje inteligentes para la web (WILE, Web-based Intelligent Learning Environment).

A continuación se expondrán las características más importantes de ambos tipos de sistemas mediante una revisión bibliográfica de los mismos.

## 3.1 SISTEMAS DE GESTIÓN DEL APRENDIZAJE

Las funciones más importantes de los LMS son las de gestionar usuarios y recursos (materiales y actividades de formación), administrar el acceso, controlar y hacer seguimiento del proceso de aprendizaje, realizar evaluaciones, generar informes, gestionar servicios de comunicación como foros de discusión, correo, videoconferencias, etc.

Una de las ventajas en la utilización de estos sistemas es que existen numerosos Objetos de Aprendizaje (LO, Learning Objects) tanto para profesores como para alumnos, y es posible construir cursos mediante la reutilización de estos LO.

Por otro lado, la principal desventaja de estos sistemas es que son sistemas estáticos, es decir, carecen de inteligencia para adaptar el material al alumno según sus necesidades a lo largo de la instrucción. De esta forma se pierden las ventajas que podían lograrse gracias a los Sistemas Tutores Inteligentes.

Existe una gran variedad de LMS. A continuación presentamos una breve descripción de tres de los sistemas más utilizados (Blackboard, Edvance y Moodle) seguida de una comparativa entre ellos sobre las herramientas que proporcionan a los usuarios y sus diversas funcionalidades.

**Blackboard**<sup>1</sup> es un sistema comercial de aprendizaje para el desarrollo, seguimiento y administración de cursos sobre la web desarrollado por la compañía Blackboard, Inc. en 1997 y con sede en Washington. Desde sus inicios ha adquirido los siguientes CMS – Sistemas de gestión de cursos: CourseInfo, Web-Course-in-a-Box, Prometheus y WebCT. Está disponible en 8 idiomas: inglés, castellano, italiano, francés, chino simplificado, japonés, portugués y alemán. Blackboard ofrece una amplia variedad de servicios para ayudar a los clientes a conseguir sus metas de aprendizaje sobre planificación estratégica, implementación y personalización, entrenamiento y también, soporte las 24 horas del día. Actualmente es posible utilizarlo en una amplia variedad de navegadores, como Internet Explorer, Netscape, Firefox y Safari. El sistema soporta Oracle, MS SQL Server y MySQL. Está disponible una versión para Windows y otra para UNIX.

**Edvance360**<sup>2</sup> es una compañía de software que proporciona a instituciones de educación superior servicios de tutorización inteligente. Permite crear cursos y para enseñar en la distancia. Permite la colaboración online mediante la web 2.0 y una red social segura. Edvance360 ofrece diversas soluciones según el entorno en el que se quiera enseñar (universidad, empresa, colegios). Actualmente se puede utilizar en varios navegadores: Internet Explorer, Firefox y Safari. El sistema soporta MySQL. Está disponible una versión para Windows y otra para UNIX.

**Moodle**<sup>3</sup> (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment, Entorno de Aprendizaje Dinámico Orientado a Objetos y Modular), es un sistema de gestión de cursos, también conocido como sistema de gestión del aprendizaje (LMS – Learning Management System). Es una aplicación web que los educadores pueden utilizar para crear sitios de aprendizaje online. Es un proyecto diseñado por Martin Dougiamas para dar soporte a un marco de educación social constructivista. Moodle es gratuito y se distribuye bajo licencia GPL. Tiene derechos de autor (copyright), pero se puede copiar, usar y modificar siempre que se proporcione el código fuente a otros, no se modifique o elimine la licencia original y los derechos de autor, y se aplique esta misma licencia a cualquier trabajo derivado de él. Se puede utilizar en varios navegadores y soporta Oracle, MS SQL Server, MySQL y PostgreSQL. Está disponible una versión para Windows y otra para UNIX.

El estudio de estos sistemas lo realizamos con una comparativa según las funcionalidades que nos proporcionan. Los aspectos considerados son el desarrollo de contenidos, la administración, la evaluación y el seguimiento de los alumnos, la comunicación, la producción, y la colaboración entre estudiantes (WCET, Western Cooperative for Educational Telecommunications, 2004).

---

<sup>1</sup> <http://www.blackboard.com>

<sup>2</sup> <http://www.edvance360.com>

<sup>3</sup> <http://moodle.org>

### 3.1.1 DESARROLLO DE CONTENIDOS

Sobre las herramientas de reutilización y compartición de contenidos, los tres entornos proporcionan un **repositorio central de contenidos** donde los profesores pueden almacenar los archivos con contenido del curso y así, poder compartirlos con estudiantes y otros profesores. El repositorio puede ser a través de todo el sistema o por unidades organizadas individualmente. Además Blackboard dispone de **control de versiones** para crear y gestionar el flujo de trabajo en la creación y revisión de contenidos colaborativos. El repositorio de Blackboard soporta IEEE LOM (IEEE Learning Object Metadata) y perfiles de aplicación de metadatos como Dublin Core<sup>4</sup>, Cancore<sup>5</sup> y perfiles a medida.

Tanto Blackboard, como Moodle y Edvance360 proporcionan soporte para la creación de **cursos basados en plantillas**, dejando que los administradores utilicen cursos existentes o plantillas predefinidas como base para nuevos cursos. Además Blackboard y Edvance360 proporcionan interfaces para el diseño de cursos con guías paso a paso que ayudan a los diseñadores de cursos en la creación de tareas de curso comunes, como poner en marcha la página principal del curso, el programa del curso, páginas de organización, módulos de contenido, discusión, etc. Finalmente, tanto Blackboard como Moodle permiten que los contenidos de un curso se suban a través de WebDAV<sup>6</sup> (un conjunto de extensiones del protocolo HTTP que permite a los usuarios editar y gestionar archivos colaborativamente en un servidor web remoto).

En cuanto a la **aparición de los cursos**, los tres entornos proporcionan plantillas por defecto donde los profesores pueden cambiar los iconos de navegación y los esquemas de color, así como el orden, el nombre y la función de los elementos del menú de un curso. Las instituciones pueden crear sus propias plantillas y apariencias, y poner sus propias imágenes institucionales, cabeceras o pies de páginas a través de todo el sistema. Para Blackboard y Moodle el sistema soporta en una misma instalación múltiples instituciones, departamentos, escuelas y otras unidades organizacionales donde cada unidad puede poner su propia apariencia y plantilla, así como sus imágenes institucionales, cabeceras y pies de página.

Para la creación de contenidos, los tres entornos disponen de herramientas que permiten a los profesores organizar los **objetos de aprendizaje**, herramientas del curso y contenidos en secuencias de aprendizaje reutilizables, que podrán organizar jerárquicamente por curso, lección y tema. También podrán reutilizar cursos y plantillas para futuras clases.

Por último, presentamos los **estándares** que siguen cada uno de estos sistemas para el desarrollo de contenidos:

---

<sup>4</sup> <http://dublincore.org/>

<sup>5</sup> <http://cancore.athabasca.ca/en/>

<sup>6</sup> <http://www.webdav.org/>

Blackboard: SCORM 1.2 y SCORM 1.3, IMS Metadata vocabulary v1.2.1, IMS Content Packaging 1.1.2 e IMS Enterprise Specification 1.01. El sistema también incluye herramientas que facilitan la migración del contenido de cursos entre diferentes versiones del software.

Edvance360: AICC7, IMS QTI 2.0 y SCORM 1.2.

Moodle: AICC, IMS Content Packaging 1.1.3, IMS Content Packaging 1.1.4, IMS QTI 1.2.1, IMS Enterprise 1.1, SCORM 1.2 y SCORM 1.3.

### 3.1.2 ADMINISTRACIÓN

En los tres sistemas se proporcionan diferentes mecanismos para **identificar usuarios**. Existen también distintos **tipos de roles** y se restringe el acceso en función de los mismos. Las dos opciones comerciales (Blackboard y Edvance360) proporcionan un sistema de alojamiento, mientras que Moodle oferta el servicio mediante afiliaciones comerciales (Moodle Partners).

### 3.1.3 EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LOS ALUMNOS

En los tres sistemas se pueden realizar diferentes tipos de **ejercicios** (opción múltiple, relación, ordenación, rellenar blancos, respuestas cortas...) y es posible controlar cuándo, dónde y bajo qué circunstancias deben realizarse (si se muestran las soluciones, si se pueden ver los intentos anteriores, etc.). Las cuestiones pueden contener elementos multimedia (imágenes, vídeo y audio). Además Edvance360 y Moodle permiten crear el formato de pregunta deseado.

Los tres sistemas permiten a los profesores crear bancos de preguntas propios o importarlos de fuentes externas que soporten el estándar QTI8 (IMS Question and Test Interoperability specification), y los tres proporcionan análisis estadístico de los datos. Veremos más adelante las técnicas utilizadas para el sistema Moodle en más detalle (Capítulo 8).

En cuanto a la **evaluación**, los profesores pueden evaluar el trabajo de los estudiantes online (si lo desean anónimamente) y pueden permitir a su vez que los alumnos se comenten los ejercicios entre ellos. Blackboard y Moodle les dejan también elegir si quieren evaluar a cada alumno en todas las preguntas o evaluar cada pregunta para todos los alumnos.

Para poder asignar las calificaciones, estos entornos soportan un **sistema de notas** para registrar el progreso y el trabajo online de los estudiantes. Por ejemplo, cuando un profesor añade una tarea al curso, el software automáticamente la asocia al cuaderno de notas. Los profesores también pueden añadir notas para tareas offline, así como detalles en columnas personalizadas. Pueden asimismo exportar las notas en una hoja de cálculo externa y pueden crear una escala de notas en la que se pueden utilizar porcentajes, letras para las notas o métricas del tipo aprobado/suspendido.

---

<sup>7</sup> Aviation Industry CBT Committee <http://www.aicc.org/joomla/dev/>

<sup>8</sup> <http://www.msglobal.org/question/>

En cuanto a las herramientas de gestión de cursos estos tres entornos permiten a los profesores personalizar el acceso a materiales específicos en función de los integrantes de grupos y pueden publicar tareas, evaluaciones y anuncios para fechas determinadas. Además Blackboard y Edvance360, no permiten seguir con el curso a los alumnos hasta que no completen las tareas deseadas por el profesor. En estos dos sistemas los profesores también pueden permitir el acceso a contenidos específicos del curso basándose en las actividades previas o la ejecución realizada. También puede limitar las discusiones para fechas o eventos de curso determinados.

En lo que se refiere al **seguimiento de los alumnos**, en los tres sistemas existen herramientas que permiten a los profesores obtener información sobre la frecuencia y duración de los accesos de un estudiante o grupo de estudiantes a los componentes de un curso. Asimismo, pueden obtener informes sobre el número de veces, hora, fecha, frecuencia y dirección IP de cada estudiante que accede al contenido del curso, foros de discusión, evaluaciones del curso y tareas. Además Moodle y Edvance360 presentan la funcionalidad de ver el registro de navegación de cada estudiante. Y tan solo Moodle puede agregar las estadísticas de uso a través de los cursos o a través de la institución.

### 3.1.4 COMUNICACIÓN

En este apartado compararemos los sistemas según la gestión que realizan sobre la comunicación entre los usuarios del sistema. Los tres proporcionan herramientas de comunicación entre profesores y alumnos tales como, **foros de discusión, subida de ficheros, email interno, y chat.**

En Blackboard los alumnos pueden crear **notas privadas** sobre sus cursos y utilizar **Portfolios** para gestionar sus publicaciones online. En Edvance360 disponen de una herramienta que les permite crear notas, almacenarlas y exportarlas en cualquier curso o comunidad; también pueden adjuntarlas en cualquier página y combinarlas con el contenido del curso para crear una guía imprimible de estudio. Además cada usuario tiene su propio sitio en la plataforma y se les facilita un **blog online** donde pueden publicar entradas tanto privadas como públicas (que permiten la discusión mediante comentarios) y etiquetar su contenido con palabras clave para facilitar búsquedas e indexación.

Blackboard también dispone de un **sistema de pizarra** que permite subida de imágenes y PowerPoint, soporta símbolos matemáticos, además de una aplicación para compartir el escritorio. Es posible guardar las sesiones para poder verlas en el futuro. Aunque Edvance360 y Moodle no proporcionen una herramienta de estas características sí que facilitan la integración de módulos externos como Dim Dim<sup>9</sup>, Elluminate<sup>10</sup> u otros sistemas de pizarra.

---

<sup>9</sup> <http://www.dimdim.com/>

<sup>10</sup> <http://www.illuminate.com/>

### 3.1.5 PRODUCCIÓN

En este apartado veremos las diversas herramientas de las que dispone el alumno para facilitarle el aprendizaje online del curso, como calendarios, anuncios, búsquedas de contenido, favoritos, trabajo fuera de línea y ayuda en el sistema.

Respecto a las funcionalidades relacionadas con el **calendario**, en los tres sistemas tanto profesores como alumnos pueden crear eventos durante el curso. Existe también una **página de anuncios** del curso donde los profesores pueden postear allí sus propios anuncios. En cuanto a los estudiantes, estos disponen de una página personal donde visualizan los cursos en los que están matriculados, los mails que les llegan y todos los eventos de sus calendarios. También pueden ver sus notas en las tareas completadas, el total de puntos posibles, la nota del curso y comparar sus notas con la nota general de la clase. Además, Moodle permite la **suscripción a fuentes RSS** para recibir notificaciones en los cambios del material. Por otro lado, Edvance360 permite la creación y secuenciación de clases de manera similar a los objetos SCORM<sup>11</sup>. Los estudiantes pueden ver el **progreso del curso** mediante un gráfico en la página principal de las clases y los profesores a su vez, el progreso de cada estudiante.

En los tres sistemas se pueden realizar **búsquedas por palabras clave** para encontrar material dentro del curso, tanto en hilos de discusión como en chats y grabaciones de sesiones de clases virtuales. Además Moodle y Blackboard disponen de una herramienta para crear el glosario de un curso.

De estos tres sistemas solo Blackboard proporciona a los alumnos la posibilidad de gestionar sus **favoritos** para encontrar fácilmente los contenidos del curso.

Los sistemas Blackboard y Edavnce360 ofrecen un servicio de **trabajo fuera de línea**, algo de lo que Moodle, sin embargo, carece. Los estudiantes pueden compilar y descargarse el contenido de todo un curso en un formato que pueda imprimirse y almacenarse localmente. Además pueden descargarse contenido del curso y de grupos de discusión en una PDA. Blackboard también permite a los profesores publicar contenido del curso en un CD-ROM al que puede ser redireccionado dinámicamente online o visualizado offline.

Las herramientas de orientación y ayuda están disponibles para guiar a los estudiantes en los tres sistemas mediante **tutoriales online**.

### 3.1.6 COLABORACIÓN ENTRE ESTUDIANTES

En cuanto a la participación del estudiante, en los tres sistemas existen herramientas que permiten el **trabajo en grupo**. Dichas herramientas permiten tanto la creación de grupos por parte de los profesores como de los alumnos, donde cada grupo dispone de su propio **foro de discusión y chat**. Estos grupos pueden ser privados o monitorizados por el profesor. Los profesores pueden asignar a cada grupo tareas o actividades específicas. Además de estas

---

<sup>11</sup> Sharable Content Object Reference Model <http://scorm.com/>

funcionalidades, Blackboard y Moodle permiten que el sistema cree grupos automáticamente de un cierto número de personas (o un número de grupos en concreto).

Por otro lado, existen herramientas sobre **redes sociales** en los tres sistemas que permiten a los estudiantes crear **clubs y grupos de estudio**. Los estudiantes de diferentes grupos también pueden interactuar a través del entorno en las salas de chat o foros de discusión.

Finalmente, tanto Moodle como Blackboard y Edvance360 permiten a los estudiantes crear sus propios **portfolios**, áreas donde pueden poner su información personal o información de sus cursos, y que pueden exportar fuera del LMS.

# 4 SISTEMAS INTELIGENTES DE APRENDIZAJE EN LA WEB

Los primeros sistemas educativos para la web estaban basados en el hipertexto y se trataba de libros electrónicos donde el usuario podía navegar a través de los enlaces de sus páginas. Se favorecía así un aprendizaje constructivo donde el alumno alimentaba su propio conocimiento a través de la experiencia. Por ello, en estos sistemas hipermedia, la labor del tutor como guía desaparecía y era el alumno quien se encargaba de manejar libremente la información. A pesar de las grandes ventajas que esta tecnología ofrece, surge un gran inconveniente, y es que dada la gran cantidad de información al alcance del alumno, éste puede desorientarse e incluso sobrecargarse cognitivamente.

Para evitarlo, se ha tratado de exportar al mundo de la hipermedia las técnicas desarrolladas durante tantos años en el ámbito de los tutores inteligentes, mudando su arquitectura a la web (modelo del dominio, modelo del usuario, módulo pedagógico e interfaz, ahora en el navegador). La consecuencia directa de ello ha sido los sistemas inteligentes de aprendizaje en la web, que gracias a la tecnología aportada por la Hipermedia Adaptativa, cubren la adaptación a cada alumno que ni los sistemas basados en el hipertexto ni los sistemas de gestión pueden proporcionar.

A continuación presentamos tres de los entornos de aprendizaje más destacados, AHA!, DCG e Interbook, y estudiamos también en mayor profundidad el sistema Magadi. Todos estos sistemas son independientes del dominio y proporcionan herramientas de autor para definirlo. Estudiaremos para cada uno de ellos su arquitectura y una breve descripción de dichas herramientas de autor.

## 4.1 AHA!

AHA!<sup>12</sup> (Adaptive Hypermedia Architecture) [AHA! 2011] [De Bra et. al, 2002] [De Bra et. al, 2003] es un software para desarrollar sistemas hipermedia adaptativos cuya meta principal es proporcionar un entorno sencillo para realizar sitios web que se adapten al usuario. AHA ha sido desarrollado (siguen haciendo nuevas versiones) con software de código libre y escrito

---

<sup>12</sup> <http://aha.win.tue.nl/>

totalmente en Java mediante Servlets. A continuación presentamos su arquitectura y un resumen sobre las herramientas de autor que ofrecen para crear los diversos modelos del entorno.

#### 4.1.1 ARQUITECTURA DE AHA!

La arquitectura general de AHA! consiste en cuatro partes estrechamente relacionadas entre ellas: el modelo del dominio, el modelo del usuario, el modelo de adaptación y el motor de adaptación. En AHA! es posible almacenar estos modelos como archivos XML o en una base de datos MySQL. El administrador que configura AHA es quien elige entre estas dos opciones, así como el directorio donde se instala, los path names, etc., es también quien crea las cuentas para los diseñadores de los cursos. La configuración se realiza a través de formularios vía web y viene con instrucciones para su instalación con el servidor de código abierto Tomcat. Los diseñadores de los cursos pueden crear los modelos mediante herramientas de autor que veremos en el siguiente apartado. En la Figura 5 presentamos una descripción de los diversos componentes de la arquitectura de AHA! que podemos ver.

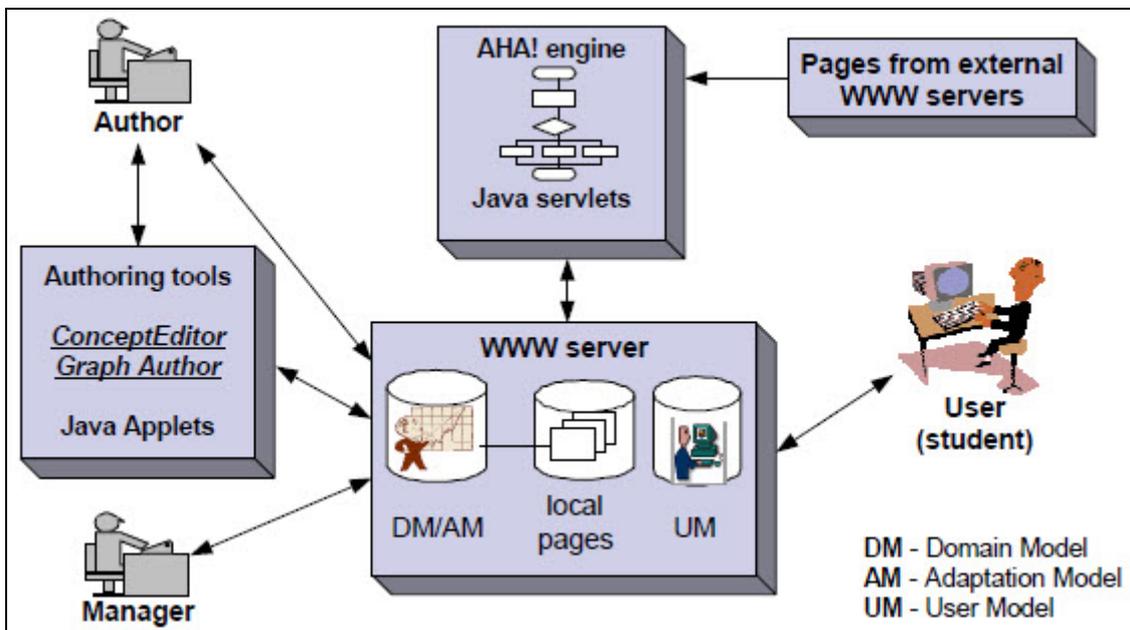


FIGURA 5. ARQUITECTURA DEL SISTEMA AHA!

El **modelo del dominio** consiste en una lista de conceptos y de las relaciones de prerrequisito entre ellos, que el diseñador crea mediante un grafo. Un concepto es un componente que representa un elemento abstracto de información (temas del dominio de aplicación) y tiene una o varias páginas web relacionadas. Cada página es un archivo XML que incluye fragmentos de texto HTML y links de hipertexto (que conectan unas páginas con otras).

AHA! utiliza un **modelo de usuario** overlay y por ello contiene todos los atributos de los conceptos del modelo del dominio, junto con la información sobre las visitas realizadas. Para

cada página o concepto, se guarda si se ha visitado o no (0 o 1), el conocimiento derivado de la visita (de 0 a 100) y el tiempo empleado en ella.

En AHA! el **modelo de adaptación** se define como una colección de reglas que expresan cómo debe realizarse la adaptación al estudiante a través de las relaciones de prerrequisito. Para cada fragmento, página o concepto podemos definir una relación que indica bajo qué circunstancias dicho elemento es conveniente. De esta forma, una relación de prerrequisito une a un elemento “fuente” a uno o más elementos “destino”. Así, la conveniencia de visitar un elemento no depende exclusivamente de la información que el usuario haya leído anteriormente, también influye la que no ha leído. Cuando un usuario accede a una página (o a un fragmento de una página) se lanzan las reglas asociadas a ella mediante el atributo acceso. Cada regla se compone de dos partes: una condición y una acción. La condición es una expresión booleana sobre atributos de conceptos, y la acción consiste en una o más asignaciones de valores directos o mediante expresiones a atributos de conceptos. Opcionalmente puede existir también una segunda acción que se ejecuta cuando la condición es falsa.

Finalmente, el **motor de adaptación** ejecuta la adaptación actual. Mientras que las reglas de adaptación indican la conveniencia de revisar fragmentos, páginas y conceptos, el motor genera las páginas de manera que el usuario pueda estudiar la información más conveniente a revisar. Los mecanismos de adaptación que utiliza (Figura 6) son el ocultamiento adaptativo de enlaces, la inserción condicional de fragmentos y la anotación de links mediante los colores estándar de los navegadores web: azul para los recomendados, morado para los que no son interesantes porque ya se han visitado con anterioridad o no aportan nueva información, y gris para aquellos cuyos prerrequisitos no han sido alcanzados.

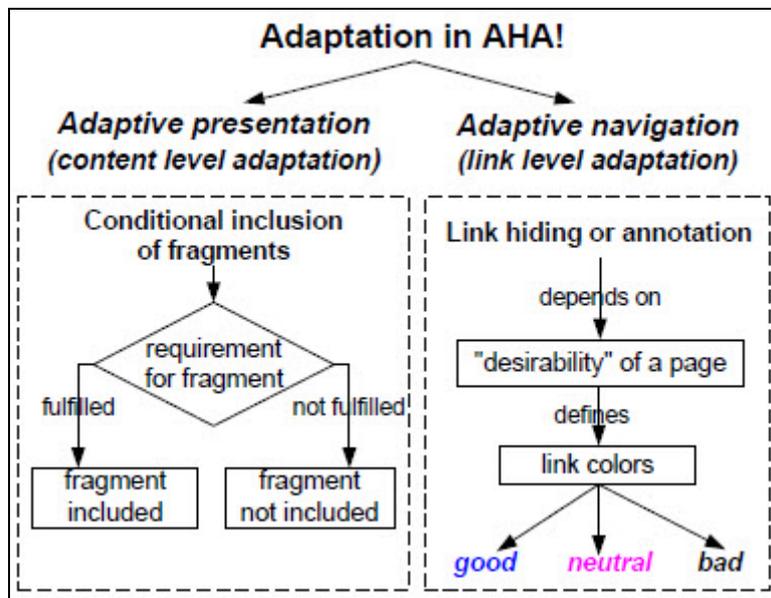


FIGURA 6. TÉCNICAS ADAPTATIVAS UTILIZADAS EN AHA!

#### 4.1.2 AUTORÍA EN AHA!

En la primera versión del sistema AHA! la autoría se realizaba directamente en archivos XML para los modelos y en HTML para las páginas. Sin embargo, en las siguientes versiones, a medida que la estructura de los modelos de dominio y adaptación se ha ido complicando, crear aplicaciones AHA! sin una herramienta de autor es prácticamente imposible. Por ello, la autoría se facilita mediante dos herramientas gráficas basadas en applet Java: Concept Editor y Graph Editor.

La herramienta **Concept Editor** permite definir conceptos y reglas de adaptación. Utiliza una plantilla para asociar un conjunto predefinido de atributos y de reglas de adaptación con cada nuevo concepto. Podemos decir que es una herramienta de bajo nivel ya que las reglas sí que las tiene que crear el autor. Muchas aplicaciones tienen un gran número de construcciones que aparecen frecuentemente, como la propagación de conocimiento de una página a la sección o al capítulo, o la existencia de relaciones de prerrequisito. Esto conduce a mucho trabajo repetitivo para el autor.

La herramienta **Graph Autor** utiliza relaciones entre conceptos de alto nivel. Mediante esta herramienta también se generan un conjunto de atributos y de reglas de adaptación al crear nuevos conceptos. Sin embargo, esta herramienta proporciona plantillas para diferentes tipos de relaciones entre conceptos. Crear la propagación de conocimiento, relaciones de prerrequisito o cualquier otro tipo de relación, solo es cuestión de dibujar una estructura de grafo mediante esta herramienta. La traducción de las construcciones de alto nivel a reglas de adaptación de bajo nivel se realiza automáticamente, basándose en las plantillas.

Finalmente, en lugar de crear herramientas específicas para AHA! se permite a los autores desarrollar aplicaciones para otros sistemas hipermedia adaptativos y traducirlos para AHA!. Por ejemplo, como parte del trabajo sobre las mejoras de diseño y presentación de AHA!, se ha desarrollado un adaptador de Interbook a AHA! que no solo emula el comportamiento adaptativo de Interbook, sino que imita en gran medida su presentación [Brusilovsky et al., 1998b].

## 4.2 DCG

DCG (Dynamic Courseware Generator) [Vassileva et al., 1998] [Vassileva, 1997] es una herramienta para crear cursos adaptativos en la web. DCG genera un curso individual según las metas y el conocimiento previo del alumno, y lo adapta dinámicamente basándose en el éxito del mismo. El estudiante recibe así un curso individualizado enfocado a una meta específica, y después es guiado adaptativamente por el curso a través de una serie de materiales de estudio en la web. Una característica destacable de esta herramienta es que es interactiva, comprueba el conocimiento del alumno y se adapta dinámicamente al progreso de éste.

A continuación presentamos la arquitectura de este sistema y una breve descripción de las herramientas de autor que proporcionan para crear los elementos necesarios de un curso.

### 4.2.1 ARQUITECTURA DE DCG

La arquitectura de DGC se divide en cuatro partes que se presentan a continuación: el modelo del dominio, el modelo del estudiante, el componente pedagógico y el generador de cursos (Figura 7).

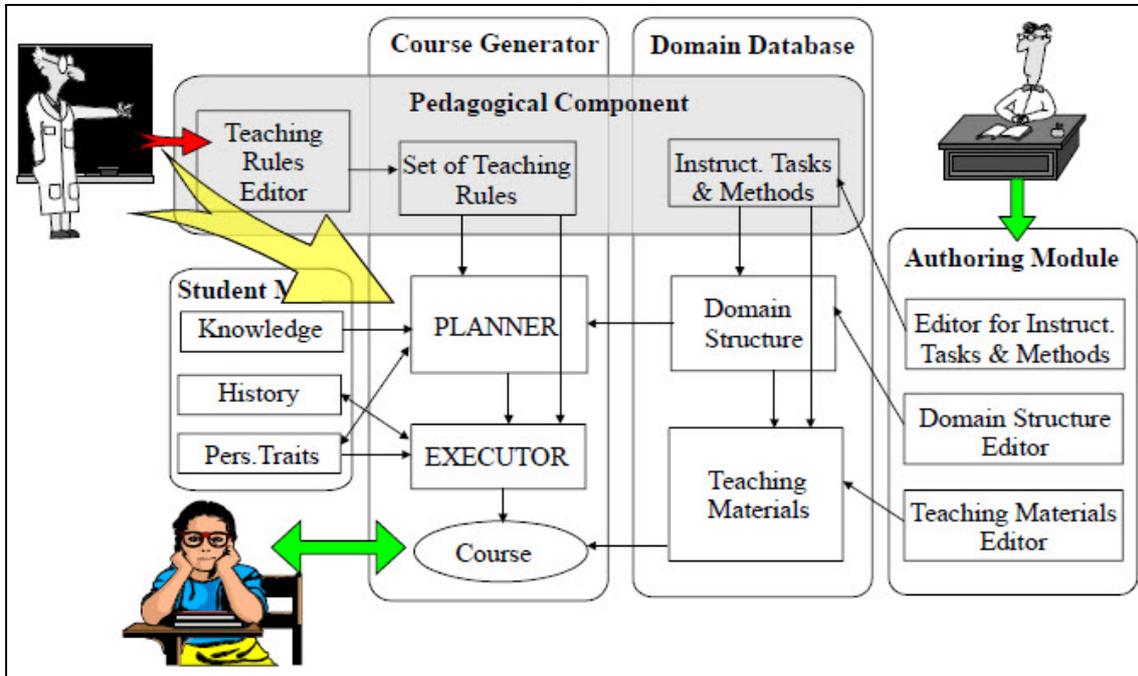


FIGURA 7. ARQUITECTURA DE DCG

La estructura del **modelo del dominio** se representa mediante un grafo AND/OR que consiste en conceptos del dominio conectados entre sí mediante relaciones de diversos tipos (agregación, generalización, implicación, prerequisite simple, etc.). Los objetivos de aprendizaje se definen indicando un concepto objetivo y asignándole los tipos de relaciones respecto a los que el plan se debería realizar. Para cada dominio el sistema ofrece una serie de posibles objetivos significativos en un menú del cual el alumno puede elegir el que más le convenga. Una gran diferencia existente entre este sistema y otros, creados también con el enfoque de navegación adaptativa, es que los grafos AND/OR permiten representar más tipos de relaciones entre conceptos, no solo la relación típica de prerequisite. Esto habilita el uso de técnicas de planificación en inteligencia artificial para generar cursos alternativos. De esta forma se asegura una gran variedad de objetivos de aprendizaje y posibles cursos para conseguirlos.

Por otro lado, los materiales para el aprendizaje y para las pruebas son archivos HTML que se pueden distribuir por diferentes sitios de la web. En la fase de autoría se proporcionan los links HTTP de los conceptos a los archivos HTML deseados. Además, deben también definirse las pruebas para cada concepto con una indicación de su dificultad y del coeficiente que establece cuanto contribuye a la puntuación total del concepto en el modelo del estudiante.

El **modelo del estudiante** contiene tres partes: un modelo del conocimiento del alumno (los conceptos o temas y las relaciones que se han enseñado), un histórico (las tareas de instrucción y los materiales de aprendizaje que se han utilizado) y un modelo de características personales e intereses del alumno.

El *modelo del conocimiento del alumno* es un modelo overlay sobre la estructura del dominio en la base de datos, que contiene las estimaciones que el sistema realiza sobre lo que el estudiante conoce de un concepto específico. La estimación de conocimiento se obtiene dinámicamente como resultado de las pruebas de aprendizaje. Se calcula mediante una simple fórmula a partir del número y dificultad de las pruebas resueltas correctamente relacionadas con un concepto determinado.

El *histórico* contiene una lista de todas las tareas, métodos y subtareas de instrucción que se han utilizado para todos los conceptos mientras se sigue el plan instruccional.

El *modelo de características personales e intereses del alumno* contiene dos listas de variables con sus valores. Las variables indican las preferencias del estudiante sobre los diferentes tipos de medios, cuyos valores discretos (bajo, medio y alto) se asignan al estudiante al comienzo de la sesión de aprendizaje.

El **componente pedagógico** del sistema se divide en dos partes: un conjunto de métodos y tareas de instrucción y un conjunto de reglas de enseñanza. Además, el componente pedagógico incluye un editor de reglas de enseñanza que permite al profesor modificar y asignar nuevas reglas.

El *conjunto de los métodos y tareas de instrucción* consiste en una representación de tareas de instrucción y su descomposición en subtareas según diferentes métodos de instrucción. De la misma forma que la estructura del dominio, la descomposición de las tareas de instrucción se representa mediante grafos AND/OR. También siguen la misma composición, aunque en este caso, los nodos representan tareas y las relaciones, métodos de descomposición de tareas. La finalidad de utilizar jerarquías para las tareas es la de permitir la planificación de la secuencia de materiales de aprendizaje sobre un determinado concepto del plan de contenidos.

El *conjunto de reglas de enseñanza* controlan la selección de los planes de contenidos y presentaciones. Estas reglas se pueden clasificar en varias categorías. Las reglas de discurso se encargan de escoger el plan instruccional a nivel de conceptos, estableciendo el criterio para seleccionarlo (cuando hay varias alternativas) y supervisarlos. Las reglas de selección de estrategia definen cómo conseguir la mejor estrategia de enseñanza para asegurarla. Estas estrategias definen los principios generales de enseñanza, como por ejemplo, quién tiene la iniciativa a la hora de decidir lo siguiente que hay que hacer, el sistema (estructurado) o el estudiante (no estructurado). Las reglas de selección de método tienen en cuenta el historial y los rasgos personales e intereses recogidos en el modelo del alumno, para decidir qué tarea de instrucción seleccionar para el concepto actual, así como el método de descomposición de tareas. Para terminar, las reglas de selección del material de enseñanza se utilizan para decidir

cómo seleccionar un material de enseñanza y el medio en el que éste se va a mostrar (texto, gráfico, animación o vídeo, etc.). Para ello tienen en cuenta las preferencias del modelo del alumno.

El componente pedagógico dispone también de un editor de reglas de enseñanza que permite al profesor definir sus propias reglas de selección de la estrategia de aprendizaje, método y materiales de enseñanza.

DCG dispone de un **generador de cursos** que es el componente que crea el curso, lleva a cabo la interacción con el alumno y mantiene el modelo del alumno. Se divide en dos módulos distintos: el planificador y el ejecutor.

El *planificador* trabaja sobre los grafos AND/OR con dos propósitos, generar el plan de contenidos (los conceptos a ser presentados en el curso) y el plan de presentación (una secuencia de tareas). El algoritmo de planificación es una modificación del algoritmo AO\* para planificación de grafos [Nilsson, 1980].

El *ejecutor* recibe el plan del planificador y selecciona la estrategia de enseñanza (estructurada o no estructurada) a partir de las reglas de selección de estrategia. Si la estrategia es no estructurada, el estudiante tiene que elegir el siguiente concepto que quiere aprender de una representación gráfica del plan y después, elige el método de instrucción a utilizar. Si la estrategia es estructurada, el ejecutor consulta las reglas de discurso y elige el siguiente concepto o relación a estudiar, una vez escogido éste, consulta las reglas de selección de método y selecciona un método de instrucción. Entonces, invoca al planificador para crear un plan de subtareas de instrucción que implemente el método elegido. Finalmente, se consultan las reglas de selección de material de enseñanza para escoger el más apropiado. El progreso del alumno al estudiar los materiales de enseñanza va modificando el modelo del alumno. Tanto para la estrategia estructurada como para la no estructurada, si el alumno no es capaz de adquirir el conocimiento necesario sobre un concepto en el tiempo permitido, el ejecutor invoca al planificador para encontrar un nuevo plan de contenidos que se adapta a las circunstancias. En cada selección del método de instrucción o del material de aprendizaje para el siguiente concepto, se tiene en cuenta la última modificación del modelo del alumno.

#### **4.2.2 AUTORÍA EN DCG**

El módulo de autoría de DCG consiste en un editor para los materiales de aprendizaje, un editor para la estructura del dominio y un editor para las tareas y métodos de instrucción.

El **editor de materiales de aprendizaje** permite utilizar materiales multimedia creados por otra herramienta de autor. Es decir, se pueden reutilizar cursos, vídeos y gráficos. En el editor se debe dar un nombre único a cada material de aprendizaje, y se asocia a un único concepto o relación de la estructura del dominio. Para que se pueda incluir en la base de datos, es necesario clasificar el material de aprendizaje según su tipo pedagógico (qué tarea de instrucción implementa) y el medio (texto, gráfico, etc.), y asignar el tiempo permitido para su estudio.

El **editor de la estructura del dominio** es un editor gráfico que permite desarrollar, extender y modificar la estructura del dominio. Soporta la creación, borrado y modificación de conceptos; También es posible insertar, borrar y conectar relaciones; así como representar las diferentes semánticas de los nodos con diferentes colores. Esta herramienta permite visualizar los materiales de enseñanza existentes en la base de datos y asociarlos con los nodos y relaciones de la estructura del dominio.

El **editor para las tareas y métodos de instrucción** es similar a la herramienta anterior. Permite la creación, borrado y modificación de la estructura de las tareas de instrucción. También permite definir tareas de instrucción específicas para un dominio específico.

## 4.3 INTERBOOK

Interbook [Brusilovsky et al., 1998a] es una herramienta de creación y distribución de libros de texto electrónicos adaptativos para la web. Interbook permite crear los libros a partir de texto plano convirtiéndolo en HTML con anotaciones. Para poner los libros a disposición de los usuarios Interbook cuenta con un servidor HTTP propio. Para cada usuario registrado, un servidor de Interbook mantiene un modelo individual del conocimiento del alumno y lo usa para guiarle en el material del curso y proporcionarle ayuda en la navegación y adaptación según sus necesidades.

La implementación de Interbook está basada en el servidor web CL-HTTP (Common Lisp Hypermedia Server). Este servidor está completamente implementado en LISP y proporciona soporte para CGI (Common Gateway Interface).

A continuación estudiamos la arquitectura de Interbook y su módulo de autoría.

### 4.3.1 ARQUITECTURA DE INTERBOOK

Interbook utiliza dos tipos de conocimiento: conocimiento sobre el dominio que se va a enseñar (representado en el modelo del dominio) y conocimiento sobre los estudiantes (representado en forma de modelos de alumno individuales). El modelo del dominio sirve como base para estructurar el contenido de un libro electrónico adaptativo, donde se pueden distinguir dos partes: un glosario y un libro de texto o conjunto de libros de texto.

El **modelo del dominio** está formado por una red semántica donde los nodos corresponden a conceptos del dominio y las relaciones expresan algún tipo de unión entre ellos.

El **modelo del alumno** es un modelo overlay que almacena por cada concepto del modelo del dominio una estimación del conocimiento que el alumno tiene de dicho concepto. Este tipo de modelos es relativamente fácil de mantener. Se registran todas las acciones del alumno (visitas realizadas, problemas resueltos, preguntas contestadas) y se utilizan para incrementar o decrementar los niveles de conocimiento de los conceptos vistos. El modelo del alumno, contiene además los objetivos de aprendizaje. A cada estudiante se le puede asignar<sup>31</sup>

individualmente un objetivo de aprendizaje (un conjunto de conceptos a aprender). Una secuencia de objetivos de aprendizaje forma una orden individual de aprendizaje. Los mecanismos de adaptación aseguran el orden correcto de los objetivos para cada alumno.

El **glosario** es la parte central de un libro electrónico. En Interbook, el glosario se considera como una visualización del modelo del dominio. Cada nodo de la red de conceptos del dominio se representa como un nodo del hiperespacio, mientras que las relaciones entre los conceptos constituyen los enlaces entre los nodos del hiperespacio. La estructura del glosario refleja la estructura pedagógica del conocimiento del dominio y viceversa, cada entrada del glosario se corresponde con uno de los conceptos del dominio. Las relaciones entre los conceptos del dominio constituyen los enlaces entre las entradas del glosario. Además, con el fin de proporcionar una descripción de un concepto, cada entrada del glosario proporciona enlaces a todas las secciones del libro que trata sobre dicho concepto. De esta forma, el glosario integra las características principales de un glosario y de un índice.

El **conjunto indexado de libros** representa el material educativo como un conjunto de libros electrónicos. Cada libro electrónico se estructura jerárquicamente en unidades de diferente nivel: capítulos, secciones y subsecciones. Cada nivel hoja en el árbol es una presentación, un ejemplo, un problema o un test. Varios libros electrónicos sobre un mismo tema forman una estantería. Para dotarle de mayor “inteligencia” a un libro electrónico y conectarlo al glosario, hay que permitirle al sistema saber sobre qué trata cada unidad del libro. Esto se realiza mediante la indexación de las unidades del libro con conceptos del dominio, por lo que todos los libros de una misma estantería se indexan con el mismo conjunto de conceptos del modelo del dominio. Interbook utiliza indexación basada en roles. Cada unidad tiene asociada una lista de conceptos relacionados (espectro de la unidad) y el rol que cada uno representa en la unidad. Este sistema permite dos roles: salida o prerrequisito. Un concepto es de salida si alguna parte de la unidad presenta información de dicho concepto. Un concepto es prerrequisito si un alumno debe conocerlo para entender el contenido de la unidad.

En cuanto a la **interfaz**, cada página que el alumno visita contiene el material correspondiente a la sección que está visitando (texto, ejercicio, test) y una barra de navegación que muestra la estructura del curso con enlaces a todos los capítulos y secciones del libro. El alumno también tiene una barra de conceptos en la que se muestran los conceptos de salida y prerrequisitos de la sección que visita y un conjunto de botones de ayuda a la navegación. Las técnicas de adaptación de contenidos que utiliza Interbook son las siguientes: navegación avanzada, ayuda a la navegación adaptada, guía directa y ayuda basada en prerrequisitos. La anotación adaptativa permite al sistema la navegación secuencial, jerárquica y directa y genera enlaces entre el glosario y el libro de texto. La ayuda a la navegación adaptada permite utilizar elementos visuales (iconos, fuentes, colores) para mostrar el tipo y el estado de cada enlace (si el alumno lo conoce, si está listo para ser aprendido o no). La guía directa facilita al sistema realizar sugerencias al alumno sobre la siguiente parte del material que se debe aprender. Y finalmente, la ayuda basada en prerrequisitos consiste en ofrecer al alumno la lista de prerrequisitos de la sección que está visitando y que aún no ha aprendido.

### 4.3.2 AUTORÍA EN INTERBOOK

La autoría de un libro de texto electrónico adaptativo se divide en varios pasos. Para comenzar se crea un fichero MS Word bien estructurado. Para ello, Interbook reconoce la estructura del documento mediante el uso de cabeceras. Después deben realizarse anotaciones basadas en conceptos del libro electrónico para dejar que Interbook sepa qué conceptos están tras cada sección. La anotación consiste en un conjunto de conceptos prerrequisitos (conceptos de otras secciones que deben leerse antes de la sección actual) y un conjunto de conceptos resultado (conceptos que se darán como aprendidos una vez que el alumno haya visitado la sección). Una vez anotado el documento, se genera un archivo HTML. Finalmente, al poner en marcha el servidor de Interbook, este analiza todos los archivos y genera el libro electrónico para que pueda ser presentado al alumno según los conceptos del modelo del dominio, el modelo del alumno y los fragmentos HTML extraídos del archivo HTML original.

## 4.4 MAGADI

MAGAdI [Álvarez, 2010] es un entorno de aprendizaje combinado (blended learning) que integra actividades online y offline. MAGAdI es una plataforma adaptativa de aprendizaje, abierta e independiente del dominio, cuyo mecanismo de adaptación tiene en cuenta el conocimiento adquirido por el alumno y sus interacciones previas. El profesor puede modificar el estilo de adaptación en cualquier momento.

A diferencia de los sistemas estudiados en los apartados anteriores, MAGAdI da una mayor importancia a las interacciones entre profesores y alumnos, permitiendo al profesor visualizar el conocimiento de los estudiantes según haya sido inferido y representado en el sistema, así como modificarlo para introducir información obtenida mediante la enseñanza en sesiones presenciales. Al plantear un sistema de aprendizaje combinado, su diseño trata de facilitar la coordinación y el flujo de información entre los dos tipos de enseñanza (online y presencial). Una coordinación real requiere transformar y ampliar el rol del profesor en sus funciones de creación y uso del sistema online. Para ello, la arquitectura de MAGAdI ofrece un espacio de trabajo especializado para cada rol de usuario (creador de contenidos, profesor y estudiante) y obtiene la integración mediante una capa de conocimiento compartida.

Otra característica destacable de MAGAdI es que es un entorno global, multi-dominio y multi-asignatura, que proporciona al alumno actividades de entrenamiento adaptadas en varios dominios y asignaturas. Por un lado, los sistemas adaptativos para la web trabajan sobre una única asignatura o un único campo de conocimiento, lo que impide su generalización para entornos globales de aprendizaje. Por otro lado, los sistemas de gestión del aprendizaje engloban en un único entorno la información referente a diferentes asignaturas y campos de conocimiento, sin embargo no permiten definir relaciones entre ellos, algo que MAGAdI sí facilita.

A continuación exponemos la arquitectura de este sistema, así como las herramientas de autoría que proporciona.

#### 4.4.1 ARQUITECTURA DE MAGADI

La arquitectura de MAgAdI (Figura 8) está basada en agentes y hereda de los sistemas tutores inteligentes sus componentes principales: el modelo del dominio, el modelo del alumno, el modelo pedagógico y el módulo de comunicación (en este caso la interfaz, por ser vía web).

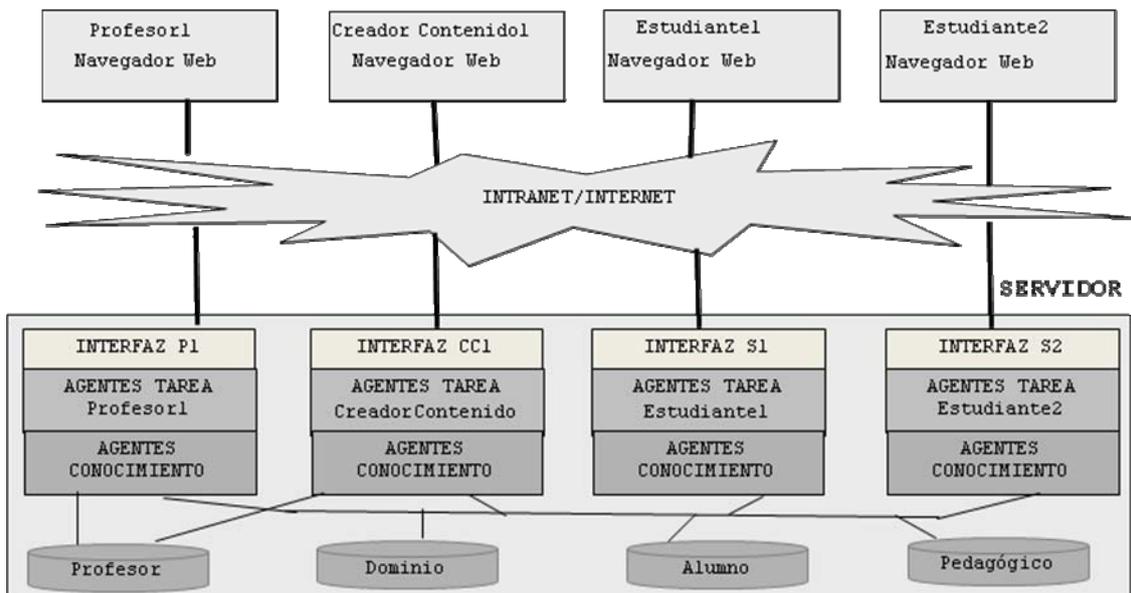


FIGURA 8. ARQUITECTURA DE MAGADI

El **modelo del dominio** de MAgAdI permite representar la estructura compleja de todos los cursos o asignaturas en los que un alumno está matriculado. Por ello representa información de diferentes campos de conocimiento (por ejemplo, el campo de conocimiento de las bases de datos), las interconexiones implícitas y explícitas existentes entre ellos y las asignaturas en las que se imparten (por ejemplo, fundamentos de bases de datos). Por ello, el modelo del dominio de MAgAdI se puede ver de dos perspectivas diferentes: la perspectiva estática (por campos) y la perspectiva dinámica (por asignaturas, que puede variar según el año académico).

La organización estructural del modelo del dominio consiste en Campos, Unidades Básicas de Aprendizaje (contenidos que hay que enseñar), Objetivos Instruccionales (habilidades que se quieren obtener sobre un contenido) y Recursos (actividades de aprendizaje, ya sean ejercicios o presentaciones, demostraciones, etc.).

La perspectiva dinámica del modelo del dominio permite organizar los Campos en Asignaturas. Los contenidos de una Asignatura y su organización secuencial conforman el Programa de la Asignatura. Estos contenidos son subconjuntos de la organización estructural del dominio. El Programa de la Asignatura identifica el conjunto de contenidos que se tratarán en la asignatura

y las habilidades que se desarrollarán en cada una de ellas. El Calendario de la Asignatura detalla el plan específico de desarrollo del Programa de la Asignatura.

El **modelo del alumno** consiste en un modelo overlay en el cual se representa el estado del conocimiento del alumno por cada concepto del modelo del dominio. El estado del conocimiento modelado puede ser inferido por el sistema a partir de interacciones entre el sistema y el estudiante o por el profesor a partir de interacciones cara a cara. El modelo también incluye otros componentes: las características personales del alumno, las características de aprendizaje y organizacionales, y un historial con todas las interacciones del estudiante con el sistema.

El **modelo pedagógico** almacena el conocimiento necesario para configurar los agentes del espacio de trabajo del estudiante y poder adaptar así el plan de instrucción que guía cada sesión de aprendizaje. MAGAdI tiene un planificador basado en reglas cuyo núcleo son los tutores IRIS, que integran una teoría de instrucción cognitiva pragmática (el modelo CLAI - Cognitive Learning from Automatic Instruction [Arruarte, 1998]). Este planificador ejecuta el proceso de construcción del plan de instrucción, que determina el orden de las tareas a realizar. MAGAdI proporciona una fase de configuración en el espacio de trabajo del alumno que permite escoger los criterios de adaptación para generar el plan de instrucción que guiará sus actividades. Este comportamiento, junto con la posibilidad de que el profesor modifique el conocimiento pedagógico en cualquier momento, proporciona al sistema una gran flexibilidad y un estilo de adaptación basado también en los resultados de interacciones cara a cara. El conjunto de reglas predefinidas relacionadas con cada estrategia, así como su personalización, se almacena en la base de datos pedagógica.

Para el **módulo de comunicación**, como hemos comentado, este sistema distingue usuarios con tres roles diferentes y proporciona un espacio de trabajo para cada uno de ellos: estudiantes, profesores y creadores de contenidos. La arquitectura de cada espacio está compuesta por un conjunto especializado de agentes de interfaz, tarea y conocimiento. Los tres espacios comparten información a través de los modelos de dominio, de alumno y pedagógico.

En el *espacio de trabajo del estudiante* el agente de interacción permite las interacciones entre el estudiante y el sistema de agentes. Los agentes de tarea se dividen en dos grupos: los de tutorización y los de configuración-recomendación. Estos últimos generan y configuran los agentes de tutorización para una situación concreta, para ello cuenta con un agente que apoya al estudiante en cada una de las fases de configuración. La capa de tutorización contiene los agentes que se encargan de conducir la sesión de trabajo del estudiante. Y por último, existe un agente de conocimiento por cada base de conocimiento (dominio, estudiante y pedagógica). Estos agentes suministran al resto de agentes la información solicitada sobre su respectiva base de conocimiento, y de la misma manera actualizan dichas bases.

El *espacio de trabajo del profesor* dispone también de un agente de interfaz, de un agente de conocimiento por cada base de datos y de cuatro agentes de tarea que surgen a partir de los tres módulos identificados en el espacio. El primero de ellos se encarga de las tareas<sup>35</sup>

relacionadas con la gestión del modelo del estudiante y de la estructuración de grupos. El segundo posibilita la visualización de las estructuras de campos y asignaturas, así como de la estructuración del programa de la asignatura. El tercero posibilita la definición y visualización de los calendarios de las asignaturas y de las indicaciones para los estudiantes. Y el último se encarga de facilitar la interacción con la información relativa al modelo pedagógico, permitiendo la visualización y modificación de configuraciones y modelos de escenario, así como la creación de nuevas configuraciones.

El *espacio de trabajo del creador de contenidos* lo repasaremos en el apartado de autoría, ya que mediante sus funcionalidades se podrá alimentar las bases del conocimiento para que el alumno y el profesor puedan trabajar.

#### **4.4.2 AUTORÍA EN MAGADI**

El espacio de trabajo del creador de contenidos solo interactúa con la base de datos del dominio, por lo que únicamente cuenta con un agente de conocimiento, que se encarga de dicha interacción. Este espacio también tiene un agente de interfaz, mediante el cual el creador de contenidos interactuará con el sistema. Y además dispone de dos agentes de tareas.

Uno de estos agentes de tarea engloba todas las funcionalidades de creación de los conceptos del dominio: Unidades Básicas de Aprendizaje, Objetivos Instruccionales y Recursos (excepto los ejercicios). También permite realizar la estructura del dominio mediante relaciones entre estos elementos.

El otro agente de tareas se encarga de la creación de ejercicios que se realiza mediante KADI, otra herramienta externa a MAgAdI. KADI [Ferrero et al., 2005] permite generar los ejercicios evaluables por el sistema de diagnóstico DETECTive [Ferrero, 2004] utilizado por este sistema. Este agente de tarea en el espacio de trabajo del creador de contenidos posibilita la visualización desde MAgAdI de ejercicios definidos con KADI.

# 5 HERRAMIENTAS DE AYUDA AL PROFESOR

Una de las cuestiones en auge en la investigación de los entornos de aprendizaje interactivos (ILE – Intelligent Learning Environment) es la personalización del aprendizaje. Esta personalización utiliza perfiles de alumnos que reúnen información sobre su conocimiento, habilidades, percepciones y sus comportamientos. Esta información se recoge o se deduce de una o varias actividades pedagógicas, computerizadas o no.

La personalización del aprendizaje, tanto en el contexto de la enseñanza clásica como en el contexto de los ILE, puede relacionarse con las interacciones entre el profesor/entorno y el estudiante de la misma manera que las actividades pedagógicas asignadas al estudiante.

Con el fin de personalizar las actividades pedagógicas que se van a ofrecer al estudiante mediante el perfil del estudiante, se puede utilizar sistemas basados en el conocimiento para generar las actividades pedagógicas que mejor encajan en el perfil, o se puede proporcionar a los profesores herramientas que les permita realizar estas tareas personalmente.

A continuación se presentan varias herramientas de ayuda al profesor: *Adapte*, que permite crear actividades apropiadas para los estudiantes según sus perfiles; *EPRules*, que aplica técnicas de análisis de datos para descubrir reglas de dependencia y ayudar en la toma de decisiones durante el curso; *LOCO-Analyst* es un entorno web de aprendizaje que proporciona feedback al profesor basándose en el análisis de la información de ejecución siguiendo la noción de *Lerning Object Context*; Finalmente veremos también herramientas que proporcionan feedback al profesor a partir del análisis de las interacciones del estudiante, aunque únicamente detectan situaciones predefinidas: *Teacher Advisor*, que utiliza técnicas de lógica difusa, y *Classroom Sentinel*, mediante detección de patrones.

## 5.1 ADAPTE

En el marco del proyecto PERLEA un grupo de investigadores de la Universidad de Lyon, ofrecen al profesor herramientas para personalizar las actividades que ofrecen a los estudiantes. Este proyecto tiene como objetivo concebir un sistema que permita a los profesores administrar los perfiles de estudiantes existentes. En este sistema el módulo

Adapte [Lefevre et al., 2008] propone actividades adecuadas a las capacidades destacadas en sus perfiles.

Dicho proyecto trata de mejorar la integración de ILEs en educación, proporcionando puentes entre el uso de ILEs y las prácticas diarias de los profesores en el aula, laboratorio, tutorías, etc. Para ello, se centran en los perfiles del estudiante y en su uso a posteriori para la gestión de los estudiantes y la personalización del aprendizaje.

El entorno permite a los profesores manipular los perfiles de alumnos existentes. Para ello, se basa en dos fases: la integración de los perfiles existentes y la gestión de los perfiles para la adaptación didáctica.

Para entender el proceso de integración se muestra un ejemplo ilustrativo: Un profesor utiliza un ILE en la materia de geografía dando lugar a un perfil por cada estudiante en dicha asignatura. Pero además existen perfiles de las evaluaciones en clase para otras materias, matemáticas y francés. La reutilización de estos perfiles requiere el conocimiento previo de su estructura. El profesor tiene que definir un único marco de perfiles describiendo la información contenida en los dos tipos de perfiles, el perfil gestionado por el ILE (en este caso, de la materia de geografía), y los perfiles obtenidos en las clases presenciales (matemáticas y francés). De esta manera este nuevo perfil contiene la información de las tres disciplinas. Para ello, el profesor establece cómo convertir automáticamente los perfiles ILE para conseguir información de geografía, e incorporar información sobre matemáticas y francés. Al finalizar la fase de integración, el profesor tiene un único perfil para cada uno de los estudiantes.

Sin embargo, dado que no hay un modelo único que permita reusar perfiles anteriores, en el mismo marco de trabajo, estos investigadores proporcionan un modelo al que denominan modelo REPro [Eyssautier-Bavay et al., 2009]. La idea es reusar los perfiles del sistema, otros sistemas, profesores, etc., juntando su información en un solo modelo de estudiante. El propósito es facilitar al profesor el acceso a toda la información del estudiante incluida en el modelo.

No es posible reusar los perfiles directamente desde la fase de generación del perfil a la fase de explotación del mismo, ya que se desconoce la naturaleza y la estructura de la información. Por ello, es necesario pasar por una fase previa de armonización que consiste en reescribir el modelo mediante un lenguaje de modelado de perfil. El lenguaje propuesto es PMDL (Profiles MoDeling Language). Todo el proceso se puede realizar automáticamente o manualmente por el profesor. Una vez finalizada esta fase, el perfil se puede transformar según las expectativas del profesor o enviar directamente a la fase de explotación. En la Figura 9 podemos ver los pasos a seguir en dicho modelo para armonizar todos los perfiles.

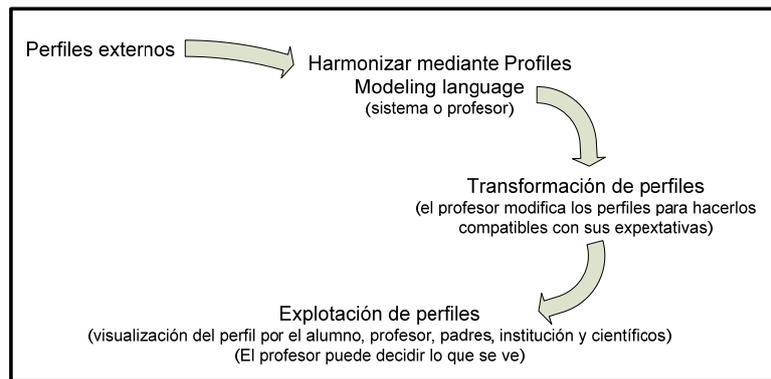


FIGURA 9. PASOS PARA ARMONIZAR LOS PERFILES SEGÚN EL MODELO REPRO

En la segunda fase del entorno se gestionan los perfiles y para ello se proporciona una gran variedad de recursos. Uno de estos recursos lo ofrece el módulo Adapte que sugiere a los estudiantes la realización de actividades adaptadas a sus perfiles. Estas actividades pueden referirse a ejercicios en lápiz y papel o pueden ser actividades de ordenador gestionadas por un ILE externo.

## 5.2 LOCO-ANALYST

LOCO-Analyst [Jovanovic et al., 2007] es una herramienta educativa que tiene como objetivo proporcionar feedback a los profesores en aspectos relevantes del proceso de aprendizaje en un entorno web de aprendizaje. De esta forma se ayuda a los profesores a mejorar el contenido y la estructura de sus cursos online. Algunos ejemplos de feedback se refieren a:

- *Los diferentes tipos de actividades que realizan los estudiantes durante el proceso de aprendizaje.*
- *El uso y la comprensión del contenido de aprendizaje que los profesores han preparado y utilizado en el sistema de gestión del aprendizaje.*
- *Interacciones sociales contextualizadas entre los estudiantes en el entorno virtual de aprendizaje.*

El feedback proporcionado por LOCO-Analyst se basa en el análisis de lo que el usuario realiza con un sistema de gestión del aprendizaje, sin atarse a ninguno en concreto. La información se analiza siguiendo la noción de Learning Object Context (LOCO), que se basa en la interacción de un estudiante (o grupo de estudiantes) con un contenido de aprendizaje durante la realización de una actividad concreta (leer, hacer un ejercicio, chatear, etc).

LOCO-Analyst es una aplicación Web Semántica construida en el marco de trabajo de las ontologías LOCO (Learning Object Context Ontologies), que han sido desarrolladas para permitir la representación formal de objetos de aprendizaje. Además utilizan la anotación semántica para interrelacionar las diversas actividades de aprendizaje, tales como lecciones, test, o mensajes intercambiados durante las interacciones online. También utiliza razonamiento

para obtener información significativa de la información de contexto de objetos de aprendizaje.

Se ha probado LOCO-Analyst con la información obtenida a partir de los cursos iHelp<sup>13</sup>, un sistema de gestión del aprendizaje abierto y estandarizado. Este sistema captura las interacciones de los estudiantes con el sistema (el momento y duración de una visita a un contenido, los links en los que han entrado, los vídeos que han visto, etc.) y las interacciones entre estudiantes (el contenido y el momento en el que se envían mensajes en salas de chats con la lista de participantes, y las veces que se leen los mensajes de discusión entre ellos).

LOCO-Analyst ha sido implementado como una extensión de Reload Content Packaging Editor<sup>14</sup>, una herramienta de código libre para crear cursos conforme a la especificación IMS Content Packaging (IMS CP). Mediante la extensión de esta herramienta con las funcionalidades de LOCO-Analyst, se consigue una herramienta única para que los profesores creen cursos e-learning, reciban y visualicen automáticamente el feedback sobre su uso y modifiquen los cursos como corresponde.

Con el objetivo de conocer las opiniones de los profesores sobre lo que les podría ayudar para mejorar la experiencia de aprendizaje de sus estudiantes, han realizado un estudio sobre la información de contexto de aprendizaje y su influencia en la solución de requerimientos no satisfechos de los profesores de los cursos online. En dicho estudio concluyeron que los profesores necesitaban el siguiente tipo de feedback:

- *Reconocimiento de problemas surgidos, por ejemplo en los módulos de aprendizaje.*
- *Reconocimiento de diferencias entre trayectorias de aprendizaje satisfactorias y no satisfactorias.*
- *Detección de contenido (en temas o lecciones) que resulten difíciles de comprender para los estudiantes.*
- *Identificación de dificultades de estudiantes a nivel de tema.*
- *Identificación de temas discutidos frecuentemente.*
- *Identificación del nivel de compromiso de los estudiantes en la comunicación online y en las actividades colaborativas.*

En LOCO-Analyst se implementan estos tipos de feedback. Además LOCO-Analyst proporciona feedback a diversos niveles de granularidad de contenidos (comenzando desde el nivel de una lección simple hasta el módulo completo de aprendizaje). También proporciona feedback sobre diferentes tipos de contenido de aprendizaje (por ejemplo, lecciones y test). De este

---

13 <http://ihelp.usask.ca/>

14 <http://www.reload.ac.uk/editor.html>

modo, a un profesor se le proporciona información más relevante que pueda ayudarle mejor a distinguir qué está mal en su curso. Por otro lado, LOCO-Analyst proporciona feedback sobre cada estudiante individual; la interacción del estudiante con el contenido de aprendizaje así como las interacciones con otros estudiantes.

## 5.3 THE CLASSROOM SENTINEL

The Classroom Sentinel [Singley et al., 2005] es un servicio web que analiza sistemas de información de un estudiante (como por ejemplo, libros electrónicos o la asistencia) para detectar patrones de enseñanza y aprendizaje críticos. Una vez que se detecta un patrón, se presenta una alarma al profesor, quien decide si tiene que tomar alguna medida o no.

The Classroom Sentinel es uno de los componentes de Teacher's Workbench, una aplicación web que proporciona un conjunto integrado de herramientas de ayuda al profesor para gestionar las clases. Además de la detección de patrones de ejecución del estudiante y del envío de alertas, Teacher's Workbench incluye: un planificador electrónico diario que soporta enlaces a recursos instruccionales, y perfiles de estudiantes que integran y organizan información longitudinal (sobre el comportamiento del estudiante en cursos anteriores o en las propias clases del mismo curso) y demográfica (sobre otras características del alumno como la raza o el sexo) del estudiante proveniente de varias fuentes de datos.

El objetivo general de The Classroom Sentinel es mejorar día a día la toma de decisiones instruccional ayudando a los profesores a comprender mejor todos los patrones de las competencias de los estudiantes en sus clases. Los profesores actualmente utilizan la información de los estudiantes pasivamente para calificar, en lugar de activamente para inferir prácticas instruccionales futuras. Dado el gran número de estudiantes que cada profesor tiene a su cargo, generalmente no es factible estudiar detenidamente la información de las calificaciones y buscar patrones interesantes para futuras prácticas. Además, los profesores no tienen mucho acceso a otro tipo de información de sus estudiantes como la longitudinal o la demográfica para interpretar mejor lo que está ocurriendo y calibrar metas instruccionales. Para remediar esta situación, esta herramienta busca activamente entre la información de los profesores y las notificaciones enviadas para aumentar sus habilidades. Así el profesor podrá intervenir inmediatamente cuando haga falta, y no al final de una unidad instruccional entera, el fin del semestre, o incluso el fin de año cuando ya es muy tarde para que influya en los resultados.

Una alerta se compone de tres partes principales: 1) Un patrón observado de ejecución, 2) un conjunto de posibles explicaciones y 3) un conjunto de posibles respuestas. El profesor podrá decidir cuál es la mejor explicación posible o incluso rechazar todas e incluir una nueva.

Además de estas tres partes básicas, la definición de una nueva alerta también incluye las siguientes especificaciones:

**Disparadores de eventos:** para maximizar la eficiencia del sistema y minimizar la cantidad de análisis de datos que se requiere, los tipos de alertas se asocian con varios disparadores de eventos.

**Relaciones de prioridad:** Algunos patrones tienen prioridad frente a otros a la hora de caracterizar lo que está ocurriendo en clase cuando se detectan al mismo tiempo.

**Relaciones de estado:** Una vez que ha saltado una alerta para un determinado estudiante, el sistema permite encender o apagar otros tipos de alertas en reconocimiento del nuevo "estado" del alumno.

**Relaciones de agregación:** Si se detectan patrones similares para más de un estudiante, puede resultar útil para el profesor recibir una alerta de agregación que liste todos los estudiantes que han mostrado el mismo comportamiento que alertas individuales para cada estudiante.

**Parámetros definidos por el usuario:** EL sistema permite a los profesores encender o apagar tipos de alertas y especificar varios parámetros y umbrales.

Las alertas son predefinidas según los elementos descritos y se programan en el sistema en una librería de alertas.

### **5.3.1 ARQUITECTURA DE CLASSROOM SENTINEL**

En la Figura 10 podemos ver una visión esquemática del proceso de generación de alertas y los módulos software que lo constituyen.

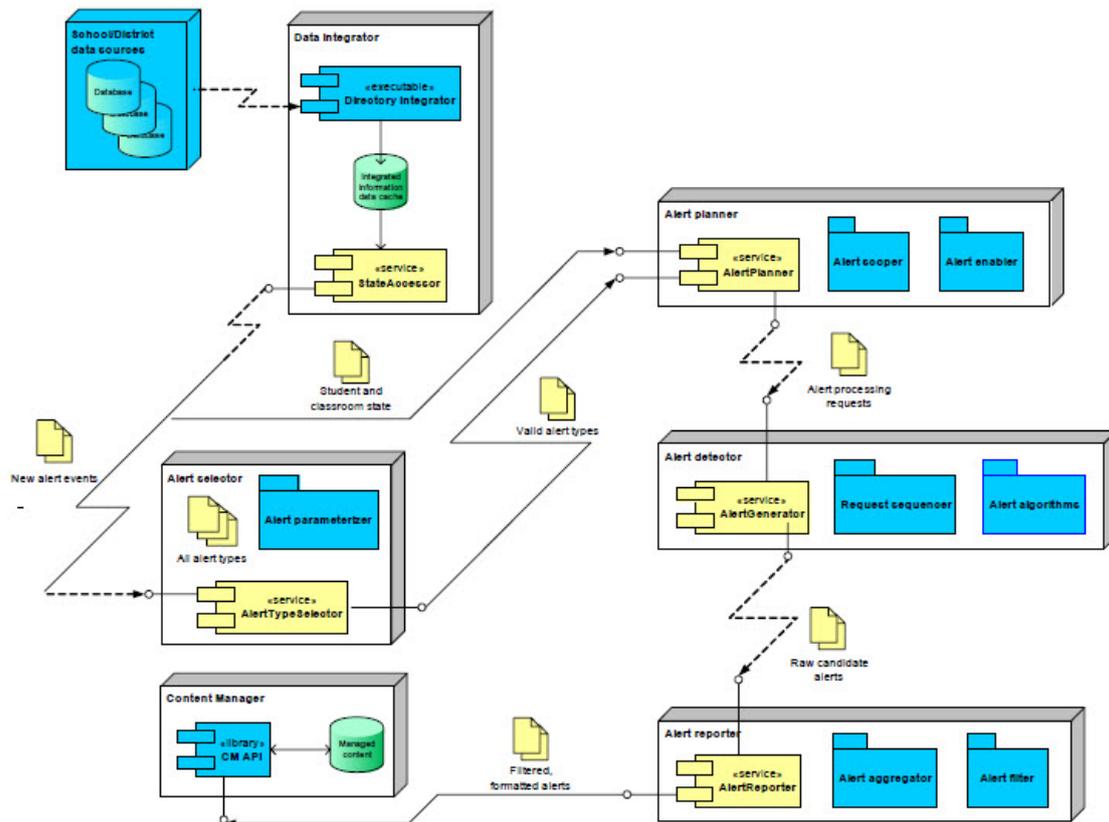


FIGURA 10. PROCESO DE GENERACIÓN DE ALERTAS EN THE CLASSROOM SENTINEL

En primer lugar, el módulo **Integrador de datos** lee notas, información demográfica y otros tipos de información sobre el estudiante de fuentes de datos de las escuelas. La información se reformatea y organiza en una caché de datos estandarizados para el acceso rápido del resto de módulos de generación de alertas. Este módulo puede proporcionar información sobre el estado actual del estudiante y de la clase, así como identificar nuevos eventos de clase que necesiten nuevas peticiones de generación de alertas.

Después, el módulo de **Selección de Alertas** selecciona aquellos tipos de alertas que se disparan por el conjunto actual de eventos nuevos para el posterior procesado. De este conjunto, el Seleccionador de Alertas conserva aquellas que el usuario no ha apagado. El conjunto conservado se parametriza por una mezcla de parámetros por defecto y definidos por el usuario.

El módulo **Planificador de alertas** toma el conjunto de tipos de alertas disparadas y parametrizadas y genera una cola de peticiones de procesado, que se puede considerar como el “plan” de generación de alertas. Una petición de procesado de alerta específica no solo el tipo de alerta sino también el conjunto de estudiantes, subgrupo de estudiantes, etc para los que es aplicable la alerta. El Planificador de alertas pasa la cola de peticiones de alertas procesadas al módulo **Detector de Alertas**, que genera una nueva alerta sin procesar si se detecta el patrón de características de su tipo.

Finalmente, el conjunto de nuevas alertas pasa al **Reportero de Alertas**, un módulo de post-procesado que ejecuta la agregación de alertas y el filtrado de alertas por el usuario.

## 5.4 TEACHER ADVISOR

Teacher Advisor (TADV) [Kosba et al, 2005] es un Framework generador de avisos de un entorno web de educación en la distancia (WBDE, Web-Based Distance Education) desarrollado en plataformas para sistemas de gestión de cursos web (WCMS, Web Course Management Systems).

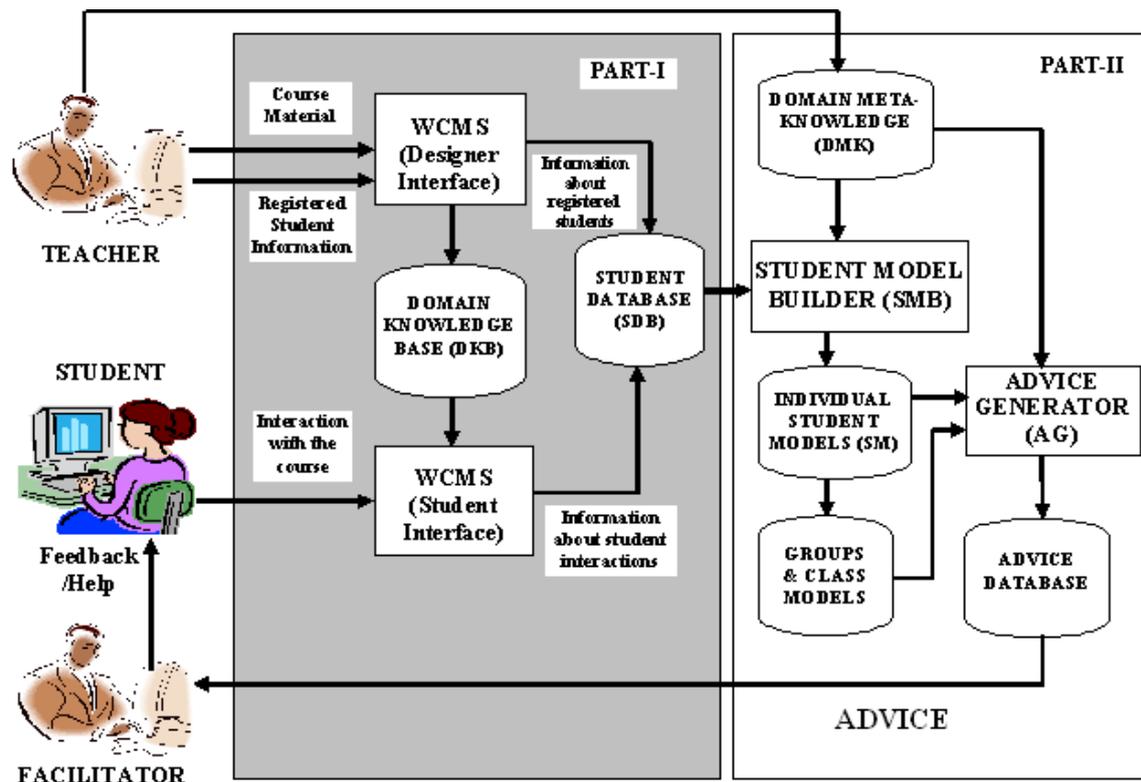


FIGURA 11. LA ARQUITECTURA DE TEACHER ADVISOR

Como podemos ver en la

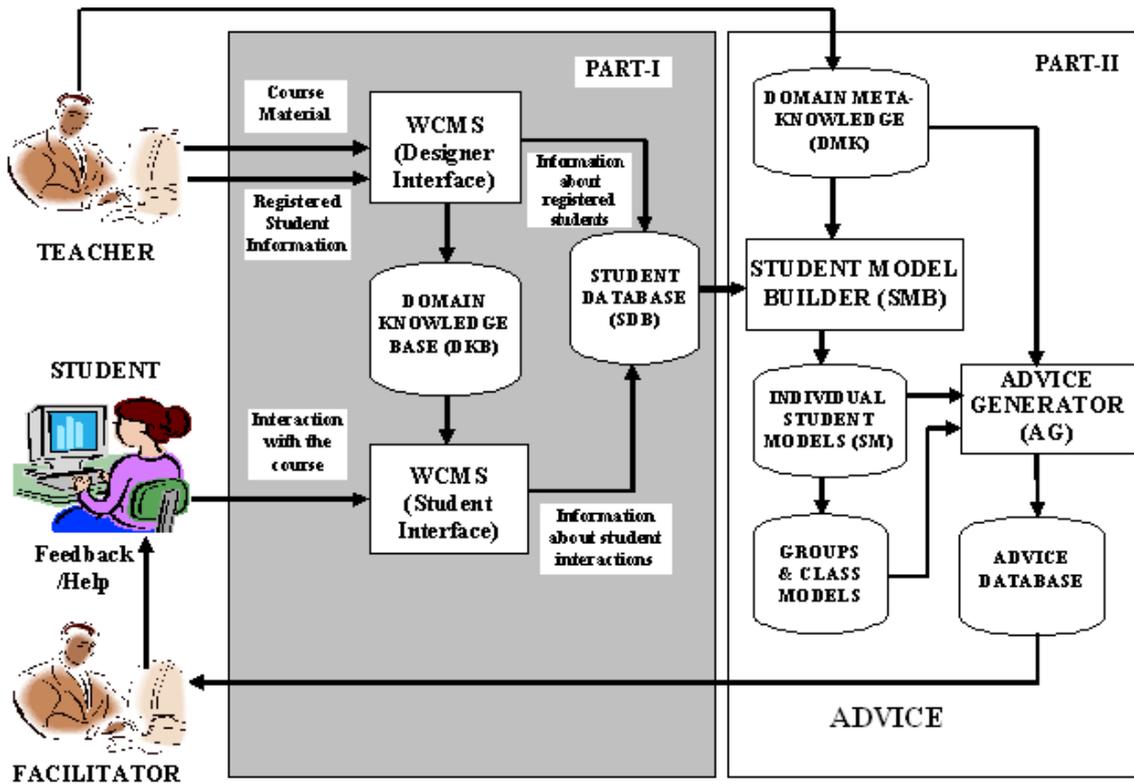


Figura 11, TADV está dividida en dos partes: PART-I y PART-II. PART-I representa la estructura convencional de un curso desarrollado en WCMS. Los diseñadores del curso son los responsables de preparar el material del curso incorporado en la base de conocimientos del dominio (DKB, Domain Knowledge Base). En TADV el diseño de un curso se realiza de manera tradicional, tal y como se hace con un WCMS. Por ejemplo, el curso se define jerárquicamente y se divide en un conjunto de lecciones, donde cada lección se descompone en un conjunto de conceptos que constituyen los bloques del conocimiento. Cada concepto se define mediante objetos de aprendizaje (páginas HTML, presentaciones, etc.), pruebas de evaluación y actividades de comunicación. La Student Database (SDB) contiene la información de lo que realizan los estudiantes. La SDB es la fuente principal para el modelado de estudiantes, grupos y clases.

PART-II es una extensión de WMCS para modelar la información del estudiante y generar avisos. Domain Meta-Knowledge (DMK) es una capa sobre DKB que describe el material del curso y la manera en la que los conceptos del dominio se relacionan. TADV utiliza mapas conceptuales para representar las relaciones entre conceptos del dominio en una estructura jerárquica. Student Models (SM) representa el conocimiento individual y estilos de comunicación de los estudiantes. Group Models (GM) y Class Model (CM) se infieren a partir de los SM individuales; el primero representa la información sobre grupos específicos de estudiantes y el segundo, de la clase entera. Student Model Builder (SMB) es un módulo que analiza la información suministrada por el WCMS y construye los SM, GM y CM.

A continuación se describe cómo se representa el modelado de estudiantes en TADV. Y por

último, se presenta el Advice Generator (AG), el módulo que utiliza el SM, GM y CM junto con la información relevante en el DMK para generar los avisos a los profesores de manera adecuada.

#### **5.4.1 MODELADO DE ESTUDIANTES EN TADV**

En este apartado se exponen las diversas fuentes que componen el modelado del alumno, los modelados de estudiante, grupo y clase (SM, GM y CM), y el Student Model Builder (SMB).

##### **Modelos de estudiante individuales (SM)**

EL SM representa los estudiantes individualmente e incluye cuatro partes: perfil del estudiante (información general sobre el estudiante), comportamiento del estudiante (interacciones de aprendizaje del alumno, tales como las sesiones que el estudiante ha realizado, e información detallada de sus actividades), preferencias del estudiante (basado en un resumen de las actividades del estudiante para presentar, por ejemplo, los tipos de objetos de aprendizaje preferidos del estudiante), y conocimiento del estudiante (el nivel de entendimiento del estudiante sobre los conceptos del dominio). La computación de este estado se basa en factores de certeza y un conjunto de teorías fuzzy.

##### **Modelos de grupo y modelos de clase:**

TADV da al profesor la opción de definir grupos de alumnos para observarlos conjuntamente. Es decir, es posible modelar grupos de estudiantes para descubrir los problemas que puedan existir en el grupo. La meta principal del GM es permitir al sistema inferir problemas que puedan ocurrir en la mayoría de estudiantes del grupo y relacionar las características comunes de los estudiantes en el grupo con esos problemas.

De manera similar al GM, el CM refleja el estado del conocimiento y los aspectos comunicativos de toda la clase, considerada como un grupo grande de estudiantes.

GM y CM se utilizan, por ejemplo, para determinar qué partes del curso causan problemas a muchos estudiantes, los ejercicios evaluables que son demasiado complicados o demasiado sencillos, los tipos de objetos de aprendizaje que prefieren los estudiantes, las actividades de comunicación que más se utilizan o las que raramente lo hacen, etc.

##### **Student Model Builder (SMB):**

Es el módulo que analiza la información de rastreo del WCMS y genera los SM, GM y CM. SMB se puede ejecutar periódicamente (por ejemplo, diariamente o semanalmente) o cuando sea requerido por el facilitador. Esto depende principalmente del intervalo de tiempo requerido entre las sesiones de generación de avisos. SMB contiene tres módulos principales: el intérprete de interacciones que procesa la información de rastreo y almacena información<sup>46</sup>

en el modelo de comportamientos del alumno; el constructor de modelo individual que utiliza el modelo de comportamiento del alumno para realizar los cambios necesarios tanto en el conocimiento del alumno como en el modelo de preferencias del alumno; y el constructor de modelos de grupo y clase que utiliza el SM individual para construir los GM y CM.

#### **5.4.2 GENERADOR DE AVISOS EN TADV:**

En TADV se utilizan un conjunto de condiciones predefinidas para describir situaciones de aviso. Cada situación se relaciona con una o más plantillas de aviso también predefinidas. Cuando el generador de avisos (AG) reconoce una situación (basada en los SM, GM y CM), la correspondiente plantilla se activa para generar un aviso al profesor junto con una recomendación de lo que podría ser enviado al estudiante. En algunos casos, el sistema puede simplemente producir una sentencia que describa una situación sin sugerir lo que el profesor debería hacer para remediar el problema. Esto puede ocurrir cuando TADV es incapaz de identificar razones para el problema o considera apropiado subrayar el problema y dejar que el facilitador decida qué acciones pedagógicas son necesarias según su vista subjetiva.

TADV tiene una taxonomía basada en los problemas detectados en cursos a distancia, tal y como se ha discutido en la literatura [Kosba, 2004], y se ha confirmado en entrevistas con varios profesores de cursos basados en web. Los avisos quedan enmarcados a nivel de alumno individual, grupos y clase.

Avisos que conciernen a la ejecución de un alumno en particular (Tipo-1): incluye varios subtipos, tales como avisos relacionados con el estado del conocimiento del alumno, estudiantes que tienen niveles de aprendizaje insatisfactorios, estudiantes no comunicativos, estudiantes que aún no han empezado a trabajar o que se están retrasando con el curso, etc.

Avisos que conciernen a la ejecución de grupos (Tipo-2): proporciona información sobre problemas comunes a los que se enfrenta un grupo de estudiantes e incluye avisos relacionados a los estados de conocimientos de grupos, grupos con niveles de aprendizaje satisfactorios/insatisfactorios, grupos no comunicativos, etc.

Avisos que conciernen a la ejecución de la clase (Tipo-3): proporciona información sobre el estado y el comportamiento de toda la clase e incluye avisos relacionados con el estado del conocimiento de la clase, estudiantes malos o excelentes en función del estado del conocimiento del resto de la clase, los alumnos menos y más comunicativos, etc.

## **5.5 EPRULES**

EPRules (Educational Prediction Rules) [Romero et al., 2003] [Romero et al., 2004] es una herramienta gráfica desarrollada en Java para la explotación de datos obtenidos a partir de sistemas adaptativos para entornos educativos web. Esta herramienta facilita el proceso de descubrimiento de reglas de predicción y está orientada al profesor o al desarrollador del curso. Por ello, resulta más sencilla de utilizar para una persona no experta en análisis de<sup>47</sup>

datos que otras herramientas genéricas. Mediante EPRules los profesores podrán decidir qué cambios quieren realizar en su curso.

EPRules ha sido probada con los datos obtenidos a partir del sistema AHA! (apartado 4.1). En la Figura 12 podemos ver sus componentes, los cuales se resumen a continuación.

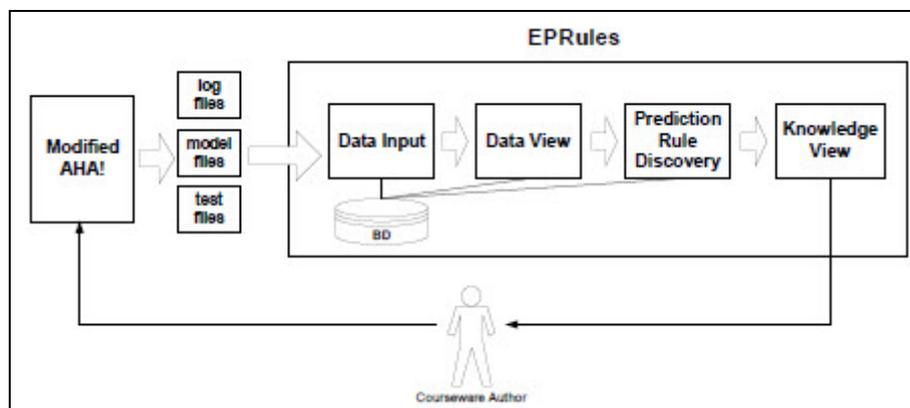


FIGURA 12. HERRAMIENTA EPRULES

### Entrada de datos

Este componente permite abrir una base de datos con información generada a partir de un curso o crear una nueva para añadir información de uso de nuevos estudiantes y preprocesarla. Para crear una base de datos nueva o añadir datos, se debe seleccionar los archivos con la información de uso de un curso (logs de los estudiantes) que serán preprocesados e integrados en una base de datos relacional.

### Visualización de los datos

Mediante este componente se puede visualizar la información sobre la utilización del curso por los estudiantes y realizar algunas estadísticas (máximos, mínimos, medias, etc.). Dicha información contiene los tiempos de acceso, respuestas correctas y niveles de conocimiento obtenidos por los estudiantes para las diferentes páginas web (actividades y contenidos) que componen el curso. Es posible visualizar la información de toda la clase o de un solo estudiante. También se puede visitar un tema particular del curso o un concepto específico del tema, así como la visibilidad y el nivel de dificultad de un curso en un tema específico (alto, normal, bajo), o un determinado tipo de información (tiempo, nivel o respuestas correctas).

### Descubrimiento de reglas de predicción

Este es el componente principal de la herramienta que aplica diferentes algoritmos para el descubrimiento de reglas. Este componente permite en primer lugar seleccionar el algoritmo a utilizar (ID3<sup>15</sup>, A priori<sup>16</sup>, Prism<sup>17</sup> y GBGP<sup>18</sup>); en segundo lugar, los parámetros específicos de

<sup>15</sup> Algoritmo de construcción de árboles de decisión

<sup>16</sup> Algoritmo de análisis de reglas de asociación

<sup>17</sup> Algoritmos covering

ejecución de cada algoritmo; en tercer lugar, las restricciones subjetivas que las reglas deberán comprobar (un estudiante específico, un capítulo o concepto determinado, un nivel de conocimiento determinado, etc); y finalmente, la función de evaluación objetivo, para que las reglas descubiertas resulten válidas al profesor.

#### Visualización del conocimiento:

Permite visualizar las reglas de predicción descubiertas, tanto las condiciones del antecedente, del consecuente como los valores que tienen para cada medida de evaluación de las reglas (confianza, interés, laplace, etc.). Las reglas aparecen automáticamente una vez que ha finalizado la ejecución del algoritmo. De manera predeterminada, aparecen ordenadas por orden de descubrimiento; sin embargo, se pueden ordenar según una condición determinada o el valor de alguna medida, simplemente pulsando la columna deseada.

## 5.6 SIGBLE - SIGMA

SigBLE [Martin et al., 2009] es un framework general creado para proporcionar feedback adaptable a los tres tipos de actores de un proceso de aprendizaje combinado (blended learning): profesores, estudiantes y entornos de aprendizaje. Su objetivo principal es detectar automáticamente signos visibles de fracaso o de éxito entre la información proveniente de las interacciones entre los actores del sistema combinado (i1, i2, e i3 en la Figura 13), así como proporcionar feedback relevante adaptado a cada situación y cada actor (f1, f2 y f3 en la Figura 13). En la siguiente figura podemos ver los actores y las líneas de interacción en un sistema combinado.

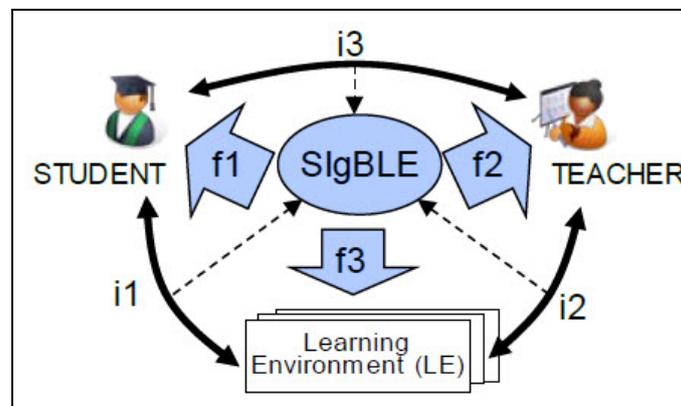


FIGURA 13. LÍNEAS DE INTERACCIÓN Y FEEDBACK EN SIGBLE

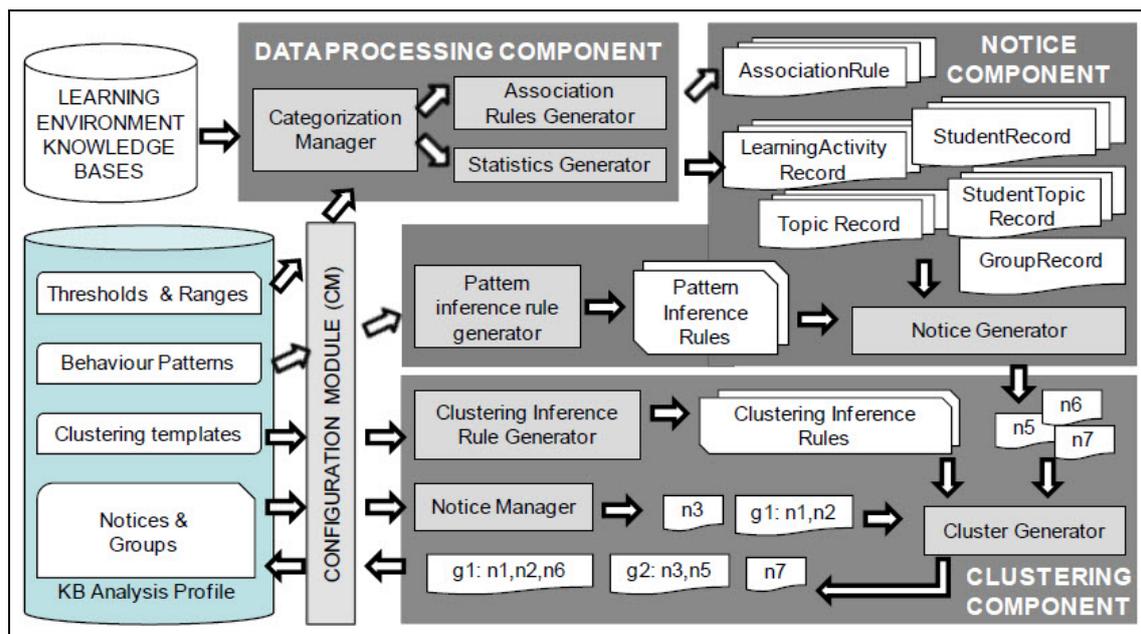
Para poder realizar una propuesta genérica aplicable a un amplio rango de entornos de aprendizaje, SigBLE se ha basado en las áreas de conocimiento principales que componen todo entorno de aprendizaje: estudiantes, dominio, actividades de aprendizaje y relaciones entre ellas. Por ello, este framework cumple los siguientes requisitos:

- *Adapta el análisis a cada actor, objetivos y circunstancias.*
- *Genera avisos y sugerencias apropiadas para remarcar situaciones críticas en relación con cualquiera de las áreas de conocimiento (alumno, actividad de aprendizaje, dominio).*
- *Analiza e interpreta cada área de conocimiento identificando correlaciones entre los datos y patrones de comportamiento.*

SigBLE proporciona un mecanismo flexible para el análisis de datos que se puede configurar en diferentes etapas. Este framework se compone de un módulo de análisis automático (AAM), un módulo de configuración (*Configuration Module, CM*) y una interfaz de comunicación, que permite la conexión con el entorno combinado. Los datos de las interacciones que se analizan vienen de las bases de conocimiento correspondientes al entorno de aprendizaje.

El proceso general de análisis que realiza el AAM toma información de las bases de conocimiento de las tres áreas mencionadas (alumno, dominio y actividades de aprendizaje) y busca patrones de comportamiento para generar avisos con información relevante. Después, los avisos con características similares se agrupan en clusters. Y además, este proceso de análisis en tres fases se puede configurar mediante el CM para conseguir un perfil de análisis deseado.

La Figura 14 muestra una visión del proceso general de análisis (los módulos aparecen en gris y los datos en blanco) que comprende tres componentes principales del AAM: procesamiento de la información, avisos y Clustering.



### Componente de procesamiento de la información

Su objetivo principal es recoger y dar formato a la información proveniente de las bases de conocimiento del entorno de aprendizaje para producir una estructura generalizada e independiente del entorno. En primer lugar, el *Categorization Manager* recoge la información sobre los alumnos, dominio y actividades de aprendizaje de acuerdo al *perfil del análisis*, expresado mediante una serie de parámetros de configuración, tal y como se habrá indicado en el CM. Después, este componente limpia los datos abstractos y los categoriza (mediante *analysis profile thresholds*), creando cinco tipos de registros (*Records*):

- *StudentRecord*: presenta información general sobre los resultados en el aprendizaje del alumno; es individual para cada estudiante.
- *TopicRecord*: resume los resultados de un conjunto de alumnos concernientes a un concepto específico del dominio. Existe un registro por cada concepto del dominio.
- *StudentTopicRecord*: cataloga información sobre los resultados de un estudiante en un concepto del dominio; un registro por cada concepto visitado por el alumno.
- *LearningActivityRecord*: resume la información sobre los resultados de un conjunto de estudiantes sobre una actividad de aprendizaje; un registro por cada actividad.
- *GroupRecord*: resume la información sobre un grupo de estudiantes. Un estudiante pertenece a un único grupo o clase establecido al comienzo del proceso de aprendizaje, sin embargo temporalmente se podría agrupar aleatoriamente y ocasionalmente con otros estudiantes; cada grupo tiene su propio registro.

Una vez que se han creado estos registros, el Generador de Estadísticas (*Statistic Generator*) completa con los valores estadísticos que les corresponden a cada tipo de registro. Después el Generador de Reglas de Asociación (*Association Rules Generator*) busca reglas de asociación que describan las relaciones entre los datos categorizados.

### Componente de avisos

Este componente se encarga de buscar los patrones de comportamientos específicos mediante la exploración del conjunto de registros creados por el componente anterior. Un patrón de comportamiento (*Behaviour Pattern*) identifica signos visibles del proceso de aprendizaje posiblemente relacionados con su éxito o fracaso. Se compone de un conjunto de condiciones y posee un significado específico. Los patrones de comportamiento se especializan para las áreas del estudiante, del dominio y de las actividades de aprendizaje. El módulo de configuración (CM) selecciona estos patrones para utilizarlos según el perfil del análisis; entonces el generador de reglas de inferencia de patrones (*Pattern Inference Rule Generator*) los traducen en un conjunto de reglas operativas. Estas reglas, junto con el conjunto de registros (*record set*) y las reglas de asociación (*association rules*), permite inferir los avisos al

generador de avisos (*Notice Generator*). Se genera un aviso cuando hay un conjunto de registros relacionados que satisfacen una regla de inferencia de patrones.

### **Componente de Clustering**

Este componente reduce la cantidad de avisos generados mediante un proceso de clustering que ofrece clusters de avisos (*Notice Clusters*). De nuevo, el CM selecciona las plantillas de clusters pertenecientes al perfil de análisis en uso; después, el Generador de Reglas de Inferencia de Clusters (*Clustering Inference Rule Generator*) las traduce en reglas operativas. Estas reglas, junto con los avisos generados anteriormente y la selección de avisos y clusters de avisos previos proporcionados por el *Notice Manager*, permiten al Generador de Clusters (*Cluster Generator*) crear nuevos avisos y clusters de avisos así como añadir avisos a los clusters ya existentes.

### **KB Analysis Profile**

Dado que los actores de un sistema de aprendizaje tienen sus propias preferencias y necesidades de análisis, que incluso pueden ser diferentes dependiendo de circunstancias externas o del punto particular en el cual se encuentra el actor en el curso, es posible definir perfiles de análisis para cada situación. Estos se definen en la base de conocimientos de los perfiles de análisis (*Analysis Profile Knowledge Base*); un perfil de análisis se compone de rangos (*Ranges*), umbrales (*Thresholds*), patrones de comportamiento (*Behaviour Patterns*), plantillas de clustering (*Clustering Templates*) y los avisos y clusters de avisos generados durante el análisis previo. Los rangos y los umbrales se pueden modificar y extender en cualquier momento. SigBLE tiene un perfil de análisis por defecto para cada rol de aprendizaje.

El prototipo actual de SigBLE se ha implementado en el contexto del entorno MAgAdI (apartado 4.4) utilizando Java, el motor de reglas JESS, WEKA y librerías matemáticas. Esto ha dado lugar al sistema SigMA que actualmente se centra en el área de los profesores.

# 6 MODELADO DEL USUARIO

El modelo del usuario [Brusilovsky et al., 2007] es una representación de la información sobre un usuario individual que es esencial para un sistema a la hora de proporcionar adaptación y diferenciarlo del resto de usuarios. El modelado del usuario y la adaptación son las dos caras de la misma moneda. La cantidad y naturaleza de la información representada en el modelo del usuario depende en gran medida del tipo de adaptación que el sistema tenga que deliberar.

Podemos distinguir los modelos que representan características del usuario como individuo de aquellos que representan el contexto actual del trabajo del usuario. Generalmente las características individuales son importantes en todos los sistemas web adaptativos, mientras que el contexto de trabajo es más significativo en sistemas adaptativos móviles y ubicuos, en los que el contexto es esencial.

## 6.1 CARACTERÍSTICAS DEL USUARIO COMO UN INDIVIDUO

A continuación se muestran las cinco características más destacadas y útiles que se pueden encontrar al tratar a un usuario como individuo: conocimiento, intereses, metas y tareas, experiencia y rasgos individuales.

### 6.1.1 CONOCIMIENTO

El conocimiento que el usuario tiene sobre la materia o el dominio representado en el hiperespacio es la característica más importante de los sistemas hipermedia y educativos adaptativos existentes. En muchas ocasiones es la única característica que se modela.

La manera más simple de modelar el conocimiento del usuario es el modelo escalar, que estima el nivel del conocimiento del dominio del usuario mediante un valor en algún tipo de escala: cuantitativa (ej. 0 a 5) o cualitativa (ej. bueno, medio, pobre, ninguno).

La desventaja del modelo escalar es su baja precisión. El conocimiento del usuario de un dominio razonablemente grande puede ser muy diferente para distintas partes del dominio. El modelo escalar mide con efectividad la media del conocimiento del usuario sobre el dominio. Para cualquier técnica de adaptación que tenga que tener en cuenta algunos aspectos del

conocimiento del usuario, el modelo escalar no es suficiente. Por ello, muchos de los sistemas adaptativos utilizan distintos tipos de modelos estructurales.

Los modelos estructurales asumen que el conocimiento del dominio puede dividirse en distintos fragmentos independientes, de manera que intentan representar el conocimiento del usuario en fragmentos independientes. Estos modelos se pueden clasificar independientemente en dos sub-categorías: según el tipo del conocimiento representado (declarativo o procedural) o según una comparación del conocimiento del usuario frente al conocimiento del experto (modelo del dominio, modelo del experto, o modelo del “estudiante ideal”).

La forma más popular del modelo estructural es el **modelo overlay**. El propósito de este modelo es representar el conocimiento del usuario como un subconjunto del conocimiento del experto. Para cada fragmento del dominio el modelo almacena algún tipo de estimación sobre el nivel del conocimiento del usuario en ese fragmento.

La mayoría de STI representan dos tipos de conocimiento: conocimiento conceptual (hechos y relaciones) y conocimiento procedural (habilidades en la resolución de problemas). Generalmente el conocimiento conceptual se representa en el modelo overlay como una red de conceptos y el conocimiento procedural como un conjunto de reglas de resolución de problemas.

Aunque este modelo mejora las características del modelo escalar, no cubre ciertos aspectos del conocimiento del usuario como por ejemplo, los errores del usuario. Para modelar estos errores, el modelo overlay fue expandido a un **modelo bug**, que representa tanto el conocimiento correcto del usuario como los errores que comete. Estos modelos generalmente se utilizan para modelar conocimiento procedural. La forma más estudiada de este modelo se denomina **modelo de perturbación**.

Un modelo incluso más rico que el modelo de perturbación es el **modelo genético**, que hace posible representar el desarrollo del conocimiento del usuario desde lo más simple a lo más complejo y desde lo específico a lo general.

La desventaja tanto del modelo de perturbación como del modelo genético es su alto coste de construcción, por ello, la mayoría de sistemas se fundamentan en el modelo overlay.

- **MODELO OVERLAY**

El núcleo del enfoque overlay para modelar el conocimiento es un modelo del dominio estructurado que se descompone en un conjunto de elementos del conocimiento del dominio (conceptos, ítems, objetivos de aprendizaje,...).

Se pueden distinguir tres formas diferentes a la hora de modelar el dominio. La forma más sencilla de representación sería un modelo de vector donde los conceptos no tienen ninguna estructura interna. La mayor desventaja de esta aproximación es la poca conexión entre los conceptos. Por ello, existen los modelos de taxonomía, donde existen relaciones entre los<sup>54</sup>

conceptos, tales como, tema-subtema. En este caso, cuando el usuario muestra una falta de conocimiento en alguno de los conceptos, las relaciones pueden ayudar a remediar este problema más fácilmente. De la misma manera, cuando el usuario demuestra que posee el conocimiento sobre algún concepto, éste se puede propagar mediante dichas relaciones. Actualmente, se está investigando en otra forma de representación, con un modelo de ontología donde existen relaciones más ricas, del tipo prerequisites, es-un, etc.

La función más importante del modelo del dominio es proporcionar un marco de trabajo para la representación del conocimiento del dominio del usuario mediante el modelado overlay del conocimiento.

La forma más simple del modelado overlay es que para cada elemento del dominio se almacene una estimación del conocimiento del alumno, del estilo conocido-no conocido. Una extensión de esta representación es la utilización de un modelado overlay ponderado que pueda distinguir diferentes estados del conocimiento del usuario. Hay tres formas para estimar este conocimiento: cualitativa, numérica simple y basada en incertidumbre. Los modelos cualitativos representan el conocimiento del usuario de un concepto con un valor cualitativo (por ej. bueno, medio, pobre). Los modelos numéricos simples utilizan un valor cuantitativo (por ej. de 0 a 100). Y finalmente los modelos basados en incertidumbre utilizan reglas bayesianas de lógica difusa para medir el conocimiento.

### **6.1.2 INTERESES**

Los intereses del usuario siempre han constituido la característica más importante del perfil del usuario de los sistemas adaptativos de recuperación de la información que trabajan con una gran cantidad de datos. También es el centro del perfil de los usuarios en los sistemas recomendadores. Sin embargo, los sistemas educativos adaptativos no le han prestado apenas atención hasta hace unos años, que ha cambiado radicalmente. Hoy en día, los intereses del usuario compiten con el conocimiento del usuario para ser la característica más importante modelada en estos sistemas.

Existen dos maneras de representar los intereses del usuario, mediante un vector ponderado de claves o mediante un modelo de concepto-nivel. Los corpus abiertos utilizan la primera opción, por ejemplo: los sistemas de recuperación de la información y sistemas de filtrado. Por otro lado, los corpus cerrados (la mayoría de sistemas adaptativos hipermedia) utilizan el modelo concepto-nivel, como por ejemplo: guías de museos, almacenes de electrónica, enciclopedias...

Los modelos concepto-nivel de los intereses de los usuarios son generalmente más potentes que los del vector, ya que permiten una mayor precisión en la representación de los intereses. Este modelado se realiza de forma parecida al modelo overlay del conocimiento del usuario, como vemos a continuación.

- **MODELADO OVERLAY DE LOS INTERESES DEL USUARIO**

Existen tres grupos diferentes a la hora de modelar los intereses del usuario mediante los modelos concepto-nivel, es decir, mediante el modelado overlay: el modelo de vector, el modelo de taxonomía y el modelo de ontología.

El modelo de vector almacena los intereses del usuario mediante un conjunto de conceptos no relacionados. Cada objeto de información se asocia con uno o más conceptos. Un interés demostrado en un objeto se modela aumentando el interés en los correspondientes conceptos. Este modelo permite una predicción fiable sobre el interés por los elementos que están relacionados con intereses previamente registrados. Sin embargo, no predice los intereses para ítems no explorados anteriormente, lo que se convierte en un problema si aumenta el número de conceptos en el sistema.

El modelo de taxonomía se forma mediante una jerarquía de clasificación de conceptos, a los que generalmente se les denomina temas, clases o categorías, donde los padres y los hijos están relacionados mediante relaciones tema-subtema.

Y finalmente el modelo de ontología representa los conceptos en una rica red de trabajo conectada mediante diferentes tipos de relaciones. Estas relaciones son del estilo es-un, es-parte-de, etc. Este modelo proporciona una representación más rica del mundo en el sistema de información.

Tanto el modelo de taxonomía como el de ontología permiten la propagación de intereses para aumentar la precisión.

### **6.1.3 METAS Y TAREAS**

Representa el propósito más inmediato del trabajo del usuario en un sistema adaptativo. Dependiendo del tipo de sistema, puede tratarse de la meta del trabajo (en sistemas de aplicación), una necesidad de información inmediata (en sistemas de acceso a la información), o una meta de aprendizaje (en sistemas educativos).

La meta del usuario es la característica más cambiante. Generalmente la meta actual del usuario se modela mediante un catálogo de metas, que es algo parecido al modelo overlay del conocimiento. El núcleo de este enfoque es un catálogo predefinido de posibles metas o tareas del usuario que el sistema puede reconocer. Generalmente este catálogo se compone de un conjunto pequeño de metas independientes, pero, algunos sistemas utilizan una jerarquía de metas, donde las metas de más alto nivel se van descomponiendo en sub-metas más pequeñas.

### **6.1.4 EXPERIENCIA**

La experiencia previa del usuario se representa mediante un conjunto de características fuera del núcleo del dominio de un sistema web específico. En los sistemas web adaptativos se ha venido utilizando un amplio rango de características en este aspecto como: profesión,

responsabilidades, experiencia de trabajo en el área, e incluso una vista específica del dominio.

La manera más común de modelar la experiencia del usuario es mediante un modelo de estereotipos. Estas características no suelen variar durante la interacción en el sistema, y resulta imposible deducirlas observando el trabajo del usuario. Por lo tanto, se suelen proporcionar explícitamente por el propio usuario o por algún superior.

### **6.1.5 RASGOS INDIVIDUALES**

Los rasgos individuales son aquellas características que definen al usuario como individuo. Algunos ejemplos son: rasgos de personalidad (ej: introvertido/extrovertido), estilos cognitivos (ej: holist/serialist), factores cognitivos (ej: capacidad de memorización) y estilos de aprendizaje.

Al igual que la experiencia del usuario, estas características apenas varían a lo largo del tiempo. Sin embargo, al contrario que la experiencia del usuario que es posible obtenerla mediante una breve entrevista con el usuario, estos rasgos individuales sólo son posibles obtenerlos mediante test psicológicos especialmente diseñados.

El área de adaptación según los rasgos individuales tiene mucho potencial pero casi no ofrece indicios prácticos. A continuación nos detendremos especialmente en los estilos cognitivos y los estilos de aprendizaje.

#### **• ESTILOS COGNITIVOS**

Generalmente, los investigadores entienden por estilos cognitivos el enfoque habitual para organizar y representar la información [Riding et al., 1998].

En la literatura se pueden encontrar diversas dimensiones en las que se clasifican los estilos cognitivos de los usuarios: dependiente del campo/no dependiente del campo, impulsivo/reflexivo, conceptual/inferencial, temático/relacional, análico/global.

Los factores cognitivos ofrecen unas características importantes del usuario a tener en cuenta, pero todavía hay que encontrar propuestas fiables.

Un ejemplo de sistema que modela los estilos cognitivos es I-Help [Bull et al., 2002]. Este sistema ayuda a los estudiantes a la hora de resolver problemas mientras estudian sus asignaturas. Este entorno les permite preguntar y responder preguntas sobre sus cursos y asignaturas y está integrado por dos partes: foros de discusión públicos, donde los estudiantes postean preguntas y respuestas que son vistas por todos sus compañeros; y una componente de discusión privado donde los estudiantes dan y reciben ayuda en una interacción de uno-a-uno.

El componente de discusiones privado incluye un agente personal por cada estudiante. Este agente trabaja para encontrar los mejores compañeros de aprendizaje para cada usuario, con la ayuda de otro agente que sugiere dichos compañeros, y mediante negociaciones con los

agentes personales de cada uno de esos compañeros. Estas negociaciones se basan en el contenido del modelo del usuario de los participantes.

En la clasificación de [Riding et al., 1991] se encuentran más de 30 etiquetas que se agrupan en dos enfoques independientes:

- *wholist – analitic (WA)*: Se refiere a la amplitud en la cual un individuo procesa la información, en un todo o en partes separadas.
- *verbal – imagery (VI)*: Se refiere al grado en el cual un individuo representa la información mientras piensa, verbalmente o mediante imágenes.

A los individuos que se pueden adaptar a los dos aspectos del grupo WA se les denomina medio, y los que se acomodan a los dos aspectos del grupo VI se les denomina bimodales.

En otro trabajo [Hardof-Jaffe et al., 2009] se estudia cómo organizan los alumnos la información. La gestión de la información personal (Personal Information Management - PIM) es un campo emergente que se centra en las actividades de cómo una persona mantiene, guarda y organiza los elementos de información para buscarlos en un futuro. Hoy en día, la gestión de la información personal cubre un rol importante en el aprendizaje, en como un estudiante crea y guarda los diferentes elementos de información, y los organiza en sus archivos de información personales. El propósito de este trabajo es investigar las estrategias de organización de los archivos personales que tienen los estudiantes utilizando técnicas de análisis de datos.

#### ● ESTILOS DE APRENDIZAJE

Los estilos de aprendizaje se definen, generalmente, como la manera en la que las personas prefieren aprender. Este grupo de características individuales se asemeja a los estilos cognitivos, pero está más estrechamente ligado con el aprendizaje humano. La aplicación de los estilos de aprendizaje a la adaptación se limita exclusivamente a los sistemas educacionales adaptativos basados en web.

La mayoría de trabajos en este aspecto exploran la adaptación intentando proporcionar a cada usuario el contenido más apropiado según su estilo de aprendizaje. Sin embargo, a pesar de todo el trabajo realizado, no existen recetas probadas para la aplicación de los estilos de aprendizaje en la adaptación. No está claro todavía qué aspectos de los estilos de aprendizaje merecen la pena modelar y qué se puede hacer realmente para los usuarios con diferentes estilos.

De la misma manera que ocurre con los estilos cognitivos, el área de la adaptación a las características individuales tiene muchísimo potencial, pero apenas ofrece sugerencias prácticas.

Existen diversas clasificaciones a la hora de dividir a los usuarios según su estilo de aprendizaje, la más utilizada es la proporcionada por Honey y Mumford, que clasifican los estilos de<sub>58</sub>

aprendizaje en cuatro grupos: activos, reflexivos, teóricos y pragmáticos. [Honey et al., 1986].

En un estudio realizado por la Universidad Autónoma de Madrid [Alfonseca et al., 2005] el objetivo principal es reunir información sobre si “Los estilos de aprendizaje de varios estudiantes trabajando juntos pueden influir en los resultados de su trabajo colaborativo, y en ese caso, cuáles son las características principales que afectan el éxito en la experiencia del aprendizaje”. En particular, el estudio está orientado a encontrar información que pueda ser usada en e-learning para agrupar automáticamente estudiantes según la información almacenada en el modelo de estudiante. En este trabajo, se modeló el estilo de aprendizaje del estudiante según el modelo de Felder y Silverman [Felder et al., 1988]. Este modelo categoriza el estilo de aprendizaje de un estudiante según una escala de cinco dimensiones: sensitivo-intuitivo (cómo se percibe la información), visual-verbal (cómo se presenta la información), inductivo-deductivo (cómo se organiza la información), activo-reflexivo (cómo se procesa la información) y secuencial-global (cómo se entiende la información).

- *Sensitivo – intuitivo*: Los alumnos sensitivos prefieren aprender primero información concreta y práctica orientada hacia reglas y procedimientos. Los alumnos intuitivos prefieren aprender información conceptual e innovadora orientada a teorías y significados.
- *Visual – verbal*: Los alumnos visuales más información de representaciones visuales como gráficos, imágenes y diagramas. Los alumnos verbales se sienten más cómodos con información verbal como textos escritos y lecturas.
- *Inductivo – deductivo*: A los alumnos inductivos les gusta obtener principios y teorías de casos específicos. Los alumnos deductivos prefieren deducir efectos y utilidades de axiomas generales.
- *Activo – reflexivo*: Los alumnos activos prefieren aprender intentando cosas diferentes además de escuchar y mirar (por ej: discutir, preguntar, argumentar, etc.). Los alumnos reflexivos prefieren la observación más que la experimentación activa.
- *Secuencial – global*: Los alumnos secuenciales prefieren acceder a la información bien estructurada secuencialmente, estudiando cada tema paso a paso, mientras que los alumnos globales prefieren construir un mapa del conocimiento desde la exploración de la información teniendo una visión de todo el espacio de información de una manera más flexible.

En este trabajo se estudió el comportamiento de 166 alumnos en tareas colaborativas, con el objetivo de observar y relacionar el impacto de los estilos de aprendizaje en grupos homogéneamente/heterogéneamente. Para clasificar a los estudiantes en grupos de acuerdo a su estilo de aprendizaje, utilizaron el cuestionario Index of Learning Styles (ILS) de Felder y Soloman [Felder et al., 2004]. La conclusión a la que llegaron fue que algunas dimensiones del modelo del estilo de aprendizaje, sobre todo los activos/reflexivos y los sensitivos/intuitivos parecen afectar a la calidad del trabajo resultante.

En otro trabajo [Solimeno et al., 2008] comparan la eficacia del face-to-face y el aprendizaje colaborativo con ayuda del ordenador (CSCL – computer supported collaborative learning) para aumentar el conocimiento académico y las competencias profesionales. También exploran de qué manera los rasgos de personalidad y las estrategias de aprendizaje de los alumnos, así como las características de los profesores están asociadas con mejores resultados de aprendizaje en contexto online y face-to-face.

170 estudiantes participaron en 10 seminarios, 5 online y 5 face-to-face. Según sus resultados, en ambos casos incrementó el conocimiento académico y profesional de los estudiantes. Las características de los profesores no influyen en el aprendizaje de los alumnos. Los estudiantes que lo hicieron mejor online y los que lo hicieron mejor face-to-face difieren en algunos aspectos psicológicos y en sus estrategias de aprendizaje.

## 6.2 CONTEXTO ACTUAL DEL TRABAJO DEL USUARIO

La adaptación al contexto del trabajo del usuario es un campo abierto de investigación relativamente nuevo en el área de los sistemas adaptativos hipermedia. Fue introducido por algunos sistemas pioneros basados en web y después fue expandido dentro del área de los sistemas adaptativos móviles. El creciente interés hacia los sistemas móviles y ubicuos atraen la atención de los investigadores hacia otras dimensiones del contexto, tales como: la ubicación, el entorno físico, el contexto social y el estado afectivo.

El modelado del contexto es conceptualmente diferente al modelado del resto de características antes discutidas del usuario. Parte de la información representada en los modelos de contexto puede ser difícilmente considerada información sobre el usuario en el sentido estricto. Sin embargo, el modelado del contexto y el modelado del usuario están estrechamente interconectados. Algunos modelos de usuario incluyen características del contexto, se utilizan técnicas similares para el contexto y para el usuario, y se están desarrollando diferentes marcos de trabajo para modelar tanto el contexto como las características del usuario.

### 6.2.1 PLATAFORMA, LOCALIZACIÓN Y CONTEXTO

Actualmente los usuarios de una aplicación web pueden acceder desde diferentes equipos y en diferentes momentos; y por ello, la adaptación a la plataforma del usuario se ha convertido en una cuestión importante.

Por otra parte, los sistemas móviles adaptativos al contexto se centran naturalmente en la adaptación a la localización del usuario. El modelado y el uso de la localización son ligeramente diferentes de otros elementos del contexto. En la mayoría de ocasiones la localización no se utiliza para activar reglas de adaptación a la presentación, sino para determinar un pequeño conjunto de los objetos más cercanos de interés. Este conjunto representa lo que se le debería

mostrar o recomendar al usuario. Este tipo de adaptación fue explorada por los sistemas adaptativos al contexto en diversos contextos, como por ejemplo, guías para museos, guías turísticas y sistemas de información marítimos.

Finalmente, mientras no exista un acuerdo definitivo sobre qué debería ser incluido en el área del contexto, la mayoría de trabajos en adaptación al contexto para computación móvil y ubicua se centran en las dimensiones del entorno y humana. La dimensión del entorno incluye el aspecto espacio-temporal y las condiciones físicas (luz, temperatura, aceleración, presión, etc.). La dimensión humana incluye el contexto personal (el pulso, presión de la sangre, ánimo, carga cognitiva, etc.), el contexto social y la tarea del usuario. Para establecer una línea más objetiva entre el usuario y el modelado del contexto, es útil observar que el modelado del usuario se centra mayoritariamente en las propiedades a lo largo del tiempo del usuario que son obtenidas a partir de observaciones, mientras que los modelos del contexto intentan representar las características actuales del usuario y del entorno.

### **6.2.2 ESTADO AFECTIVO**

La investigación en el modelado utilizando el estado afectivo se ha convertido en algo muy popular tanto en el modelado del usuario como en áreas de computación ubicua. Mientras que los métodos aplicados por los investigadores en la computación ubicua se centran primordialmente en varios sensores de entrada, en el modelado del usuario se exploran una gran variedad de enfoques basados en la observación de la interacción usuario-sistema. Un gran número de investigadores ha demostrado que se puede utilizar la información de los logs en la web para detectar la motivación del usuario, la frustración, el compromiso o la falta de él con el sistema. También es de interés saber que las redes bayesianas se enfilan como la tecnología más popular para procesar tanto los sensores de entrada como los logs de las acciones del usuario en el ámbito del estado afectivo.

Aumenta la necesidad de entender la relación entre afecto y cognición entre los investigadores. Muchos estudios indican que el afecto y la cognición están relacionados con la calidad del aprendizaje y su efectividad. El objetivo de las investigaciones actuales es el estudio de las capacidades de los tutores humanos para mejorar los ILE (Intelligent Learning Environments) con las interacciones afectivas.

Varios trabajos se basan en sensores físicos para detectar estados afectivos de los alumnos. Uno de ellos es [Porayska-Pomst et al., 2008], que se basa en las interacciones profesor-estudiante en tutorías para investigar los factores que facilitan el aprendizaje afectivo. El objetivo es entender la manera en la que los tutores humanos infieren los estados afectivos de los estudiantes y cómo eligen actuar en consecuencia a su diagnóstico. La metodología adoptada en la investigación se basa en técnicas de observación. A continuación se señalan los factores de los alumnos que pueden influir en las acciones de los tutores:

- *Factores orientados a temas:* Tiempo que falta para el final de la tutoría, material que falta por cubrir, dificultad del material, importancia del material.

- *Factores orientados al afecto:* Confianza, interés, motivación, etc.
- *Factores orientados a la realización de la tutoría:* Actitud del estudiante, acierto en las respuestas del estudiante, etc.

El profesor tiene una herramienta donde se comunica con el estudiante a modo de chat y le va proponiendo ejercicios, además de poder seleccionar las características antes expuestas de sus alumnos en sus acciones (en esta prueba cada vez le proporcionan feedback al alumno)

Las interacciones de los alumnos con el sistema se graban en vídeo, para que los tutores puedan trabajar después con ellas. Inmediatamente después de cada interacción con el sistema, tanto tutores como estudiantes son entrevistados, grabando a su vez dichas entrevistas. Tras cada interacción, se invita a los tutores a ver las grabaciones de los estudiantes en el sistema, el protocolo verbal del tutor y los factores afectivos del estudiante seleccionados. De esta manera se permite al tutor interacciones específicas de nuevo, discutir las en detalle, definir los factores que han escogido y cambiar algo en dichas situaciones.

En este trabajo realizan un estudio sobre las veces que los tutores han seleccionado las diferentes opciones en el estado afectivo de los alumnos, las entrevistas grabadas con los profesores y las acciones de los estudiantes, dando lugar a una serie de categorías de feedback del profesor. El objetivo de este proceso es explorar el potencial de técnicas de aprendizaje automático en relación al modelado predictivo de las interacciones del tutor.

En otro trabajo [de Vicente et al., 2002], partiendo de la visualización de la interacción de alumnos con un STI, un grupo de profesores, mediante una serie de reglas definidas y rellenando el modelo de motivación propuesto en el artículo obtiene información sobre la motivación de dichos alumnos. Otras características a partir de las cuales se puede obtener la motivación podrían ser la posición en la que se sientan, gestos, etc.

# 7 ANÁLISIS DE DATOS

La necesidad actual de analizar la gran cantidad de información generada diariamente por las aplicaciones web ha aumentado el interés de utilizar técnicas para el análisis de datos. Existen cuatro tipos diferentes de análisis web dependiendo de la información que se utilice [Srivastava et al., 2000]:

- *Análisis de contenido web*: Trata de descubrir información válida del contenido web como metadatos, documentos, textos, audio, vídeo, hyperlinks, etc.
- *Análisis de la estructura web*: Analiza la estructura de los hyperlinks, que representa el grafo de hyperlinks del sitio web.
- *Análisis de uso de la web*: Utiliza información generada por las interacciones del usuario tales como, acceso a los datos (archivos logs), perfiles de usuario, transacciones, preguntas, favoritos, clics, etc.
- *Análisis del perfil del usuario*: Analiza información demográfica de los usuarios del sitio web. Esto incluye los datos de registro y la información del perfil del usuario.

Las áreas más importantes de aplicación en la web del análisis de uso son: la personalización, la lógica de negocio, la caracterización del usuario, la mejora del sistema, las modificaciones del sitio, etc. Los sistemas que más se desarrollan son de e-commerce. Estos sistemas específicos tratan de entender los gustos de los usuarios con el objetivo de incrementar las ventas en la web.

Una de las aplicaciones más recientes es la personalización, que trata de adaptar los sistemas de información a las necesidades de los usuarios. Un ejemplo de sistema de personalización es el entorno educativo que utiliza métodos de minería de datos (sistemas e-learning) para proporcionar información válida para evaluarlos y mejorarlos [Romero et al., 2004].

A pesar de que los métodos de descubrimiento utilizados en ambas áreas (e-commerce y e-learning) son similares, los objetivos pueden ser diferentes dependiendo del punto de vista. Desde el punto de vista del sistema, no hay diferencias entre ellos. En ambos casos el estudio del comportamiento del cliente aplicando técnicas de análisis de datos, tiene como objetivo evaluar y mejorar el sistema para ayudar al usuario. Sin embargo, desde el punto de vista del usuario sí hay diferencias. El objetivo de un sistema e-commerce es guiar al cliente en su

compra, mientras que en un sistema e-learning es el de guiar al estudiante en su aprendizaje. Por ello, cada uno de estos tipos de sistemas tiene características especiales que requieren un tratamiento específico en lo que se refiere a la minería de datos.

En los siguientes apartados vamos a estudiar en primer lugar el proceso general de aplicación del análisis de datos en la información e-learning y para terminar las técnicas de análisis de datos que se pueden utilizar en sistemas de aprendizaje.

## 7.1 PROCESO DE ANÁLISIS DE DATOS EN LA INFORMACIÓN E-LEARNING

A continuación se describe el proceso general de aplicación del análisis de datos en la información e-learning. Se compone de cuatro pasos: recopilación de la información, preprocesamiento de la información, aplicación del análisis de datos e interpretación, evaluación y utilización de los resultados. Ya que resulta especialmente de nuestro interés el caso de Moodle, nos centraremos en su estudio particular.

### **Recopilación de información**

El sistema CMS (Course Management System) se utiliza por los estudiantes y la información del uso y la interacción se almacena en la base de datos.

### **Preprocesamiento de la información**

La información se transforma en un formato apropiado para ser estudiado. Para preprocesar los datos en el sistema Moodle se puede utilizar una herramienta de administración de bases de datos o alguna herramienta específica de preprocesamiento.

Moodle mantiene un conjunto detallado de los logs de todas las actividades que realizan los alumnos, y almacena la información en una base de datos relacional (MySQL y PostgreSQL son las mejor soportadas). Antes de poder analizar la información hay que realizar un paso previo de preproceso para poder aplicar a continuación los algoritmos de data mining. Generalmente este paso se realiza por los administradores y se trata normalmente de un proceso manual en el que el administrador tiene que aplicar ciertas tareas de preproceso general de la información (limpiar los datos, identificación de los usuarios, de las sesiones, de las transacciones, completar los paths, transformación de la información y enriquecimiento, integración de la información, reducción de la información).

Al tratarse Moodle de un CMS, el preproceso de la información es más simple, tratándose de las siguientes tareas:

- *Selección de la información:* Es necesario elegir qué cursos pueden ser útiles para analizar.

- *Creación de tablas resumen:* Es necesario crear una nueva tabla en la base de datos Moodle que pueda resumir la información al nivel requerido (por ej: estudiante)
- *Discretización de la información:* Realizar una discretización de los valores numéricos puede ser necesario para incrementar la interpretación y la facilidad de comprensión. La discretización divide la información numérica en distintas categorías de clases de manera que son más sencillas de entender por el instructor.
- *Transformación de la información:* La información se debe transformar en el formato requerido para el algoritmo de análisis de datos que se vaya a utilizar.

### **Aplicación del análisis de datos**

El análisis de datos es el proceso de descubrimiento eficiente de patrones válidos no obvios a partir de una gran cantidad de información. Se aplican algoritmos de análisis de datos para construir y ejecutar el modelo que descubra y resuma el conocimiento del interés del usuario (instructor, estudiante y administrador). Para ello se puede utilizar una herramienta de data mining general o específica, o una herramienta libre o comercial.

Existen una gran cantidad de herramientas de data mining. En [Romero et al., 2007] utilizan Weka y Keel, por tres razones: son de software libre, están implementados en Java y utilizan el mismo formato de representación externa del conjunto de los datos (ARFF). Ya hemos visto en el apartado anterior las técnicas más utilizadas en e-learning así como ejemplos de su utilización para el caso específico de Moodle.

### **Interpretación, evaluación y utilización de los resultados**

El instructor interpreta y aplica los resultados o el modelo obtenido para futuras acciones. Es decir, puede utilizar la información descubierta para tomar decisiones sobre los estudiantes y actividades del curso Moodle para mejorar sus aprendizajes.

## **7.2 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS EN SISTEMAS DE APRENDIZAJE**

En este apartado se resumen las diversas técnicas que se pueden utilizar para el análisis de datos en entornos de aprendizaje: estadísticas, visualización, clustering, clasificación, reglas de asociación, análisis de patrones secuenciales, análisis de textos, análisis de outlier y análisis de redes sociales. Veremos para cada una de ellas en qué actividades específicas se han utilizado para el e-learning. Al final de este apartado, veremos también un resumen (apartado 8.1.1) de un ejemplo de aplicación de estas técnicas en el sistema Moodle [Romero et al., 2007].

### **Estadísticas**

Las estadísticas sobre las actividades del alumno son a menudo el punto de inicio en un sistema e-learning. Estas estadísticas se pueden obtener utilizando herramientas para <sup>65</sup>

analizar los logs de los servidores web, como AccessWatch, Analog, Gwstat y WebStat. Sin embargo, existen otras herramientas específicas de estadística para la información educativa, como Synergo/ColAT. Algunos ejemplos de estadísticas en sistemas e-learning son simples medidas como número de visitas o visitas por página. Algunas estadísticas muestran la distribución en el tiempo de los alumnos conectados y los cursos a los que más acceden. Otras, muestran las visitas así como las búsquedas más numerosas. Y otras muestran informes sobre sistemas de ayuda e informes semanales y mensuales de las actividades de los usuarios. Otros métodos estadísticos más avanzados, tales como análisis de correlación entre variables, se han utilizado para inferir actitudes del estudiante que afectan al aprendizaje, o para predecir el resultado en el examen final. También se ha utilizado análisis de regresión para predecir el conocimiento del alumno. La regresión también se ha aplicado para predecir si un alumno ha respondido correctamente a una pregunta.

### **Visualización**

La visualización de la información se realiza mediante una presentación de imágenes digitales interactivas o animadas de tal forma que los usuarios puedan entender la información. En e-learning la información visualizada puede ser sobre asignaciones complementarias, cuestiones admitidas, resultados de exámenes, etc. Existen varias herramientas específicas de visualización en la información educacional. CourseVis visualiza información de un curso a distancia on-line dentro de WebCT. GISMO utiliza la información de rastreo de los estudiantes en Moodle como información fuente y genera representaciones gráficas que se puedan explorar por los instructores del curso. ListenTool revisa una gran cantidad de logs sobre las interacciones entre estudiantes y tutores del Reading Tutor automatizado del Proyecto LISTEN.

### **Clustering**

Clustering es el proceso de agrupar objetos en clases de objetos similares. En e-learning el clustering se ha utilizado para: encontrar clusters de estudiantes de características similares en el aprendizaje; promover el aprendizaje colaborativo basado en grupos y proporcionar diagnóstico incremental al estudiante; descubrir patrones que reflejen comportamientos del usuario y para gestionar la colaboración caracterizando compartimientos similares de grupos en espacios colaborativos no estructurados; agrupar estudiantes e itinerarios personalizados para cursos basados en learning objects; agrupar estudiantes para darles indicaciones personales de acuerdo a sus habilidades y otras características; agrupar tests y preguntas en grupos relacionados basados en la información de la matriz de resultados; y agrupar usuarios basándose en las sesiones de navegación fragmentadas en el tiempo.

### **Clasificación**

La clasificación o el análisis discriminante predice etiquetas de variables. En e-learning se ha utilizado para: descubrir grupos de estudiantes con características similares y reacciones a una estrategia pedagógica específica; predecir la actuación de los estudiantes y su nota final; detectar el mal uso de los estudiantes; agrupar estudiantes y encontrar estudiantes con

errores comunes; e identificar estudiantes con poca motivación e intentar reducir el número de alumnos que dejan la asignatura.

### **Reglas de asociación**

Las reglas de asociación descubren relaciones entre atributos en bases de datos, produciendo sentencias if-then relacionando atributos-valores. Una regla de asociación  $X \rightarrow Y$  expresa una correlación cerrada entre ítems (atributo-valor) en una base de datos con valores de confianza. La confianza de una regla es el porcentaje de transacciones que contienen tanto el antecedente como la consecuencia en todas las transacciones en la base de datos.

Las reglas de asociación se han utilizado en educación para: construir agentes de recomendación que puedan recomendar actividades de aprendizaje on-line; diagnosticar problemas de aprendizaje y ofrecer consejos a los estudiantes; guiar las actividades de los estudiantes automáticamente y recomendar material de aprendizaje; determinar que materiales de aprendizaje son los más apropiados para recomendarlos a los usuarios; identificar atributos caracterizando patrones de disparidad en la ejecución entre varios grupos de estudiantes; descubrir relaciones interesantes en el uso de la información por parte de los estudiantes para proporcionar feedback al profesor; descubrir relaciones en los patrones de comportamiento de los estudiantes; encontrar errores de los estudiantes que se suelen dar conjuntamente; optimizar el contenido de un portal e-learning determinando los intereses de los usuarios.

### **Análisis de patrones secuenciales**

Es una forma más restrictiva de reglas de asociación donde se tiene en cuenta el orden de acceso a los ítems. En e-learning se han utilizado para: evaluar las actividades de los alumnos y adaptar el envío de recursos; descubrir y comparar con patrones de comportamiento esperado especificados por el instructor que describe una forma ideal de aprendizaje; dar una indicación de cómo organizar de la mejor manera posible el espacio web educacional y dar sugerencias a los estudiantes que comparten las mismas características; generar actividades personalizadas a grupos de estudiantes; identificar secuencias de interacción indicativas de problemas y patrones que llevan al éxito.

### **Análisis de textos**

Es una extensión del análisis de datos al análisis de textos y se relaciona con el análisis de contenidos web. En e-learning se utiliza para: agrupar documentos de acuerdo a sus temas y similitudes, y para realizar resúmenes; encontrar y organizar material utilizando información semántica; proporcionar editores a la hora de preparar los materiales; evaluar el progreso de líneas de discusión para ver las contribuciones al tema principal; aprendizaje colaborativo y pizarra de discusión con evaluación entre las partes; identificar los bloques principales de las presentaciones multimedia; seleccionar artículos y construir e-textbooks automáticamente;

detectar el tema principal de la conversación de hilos de discusión, clasificar temas y estimar la profundidad técnica de la contribución.

### **Análisis de outlier**

Es un tipo de análisis de datos que busca determinar e informar en registros de la base de datos que difieren significativamente de lo esperado. En e-learning se utiliza para: ayudar en la detección de procesos irregulares de aprendizaje en el estudiante; detectar comportamientos atípicos en la estructura del grupo de usuarios en el campus virtual; detectar irregularidades y desviaciones en las acciones realizadas por los estudiantes o educadores con otros.

### **Análisis de redes sociales**

Se basa en la idea de que un entorno social se puede expresar mediante los patrones de relaciones entre las unidades de interacción. En e-learning se ha utilizado para: analizar actividades los sociogramas asociados con un grupo dado y el estatus de los participantes y la cohesión del grupo en las interacciones sociales; interpretar y analizar la estructura y el contenido de las comunidades educaciones online.

Aunque se hayan comentado las técnicas anteriores por separado, también es posible que se apliquen conjuntamente para obtener información interesante y de un modo más eficiente y rápido.

## **7.2.1 MOODLE: CASO A ESTUDIO Y MÉTODO PARA ANÁLISIS**

En [Romero, 2007] podemos ver en mayor profundidad un caso de estudio para Moodle, en el que se han probado las técnicas comentadas anteriormente. Por ejemplo, para el caso de las estadísticas, Moodle solamente muestra alguna información estadística en algunos módulos. Por un lado, el instructor puede utilizar escalas para medir foros, asignaciones, preguntas, lecciones, revistas, workshops para evaluar el trabajo del estudiante. Por otro lado, Moodle presenta informes de estadísticas de test que muestran análisis de ítems, así como información procesada de test de una manera adecuada para analizar la ejecución de cada pregunta. Como se ha comentado anteriormente, en el caso de la visualización de la información en Moodle se puede utilizar la herramienta GISMO. Para el caso de los clusters, en este trabajo muestran un ejemplo de la utilización del algoritmo KMeans mediante el sistema Weka que divide a los estudiantes en tres clusters: muy activos, activos y no activos. También han trabajado con algoritmos de clasificación, mostrando un ejemplo de la utilización del algoritmo C4.5 mediante el sistema Keel con el objetivo de clasificar estudiantes en diferentes grupos con notas finales iguales dependiendo de las actividades realizadas en Moodle. Para las reglas de asociación realizan un ejemplo de aplicación del algoritmo A priori mediante el sistema Weka.

Actualmente este grupo de investigadores está trabajando en el desarrollo de una herramienta de análisis de datos específica para Moodle orientada al uso online de los instructores lo que podría eliminar la necesidad de ayuda por parte de los administradores CMS para el preproceso o la aplicación de técnicas de análisis.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

[Alfonseca et al., 2006] Alfonseca, E., Carro, R. M., Martín, E., Ortigosa, A., Paredes, P.: The Impact of Learning Styles on Student Grouping for Collaborative Learning: A case study. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, Vol. 16, 3-4, pp. 377-401. Special Issue: User Modelling to Support Groups, Communities and Collaboration. Springer Netherlands. Septiembre 2006.

[Álvarez, 2010] ] Álvarez, A.: MAGAdI, una propuesta de sistema adaptativo multi-agente de apoyo al aprendizaje en un marco combinado. Tesis Doctoral de la Universidad del País Vasco. (2010)

[Álvarez et al., 2009] Álvarez, A., Ruiz, S., Martín, M., Fernández-Castro, I., and Urretavizcaya, M.: MAGADI: a blended-learning framework. In *Artificial Intelligence in Education (AIED)*, 337-339 (2009).

[Anderson, 1983] Anderson, J.R.: *The architecture of cognition*. Cambridge: Harvard University Press.

[Anderson, 1998] Anderson, J.R.: *The Expert Module*. In Polson, M.C., Richardson, J.J., *Foundations of Intelligent Tutoring Systems*. Lawrence Erlbaum. (1988)

[Arruarte, 1998] Arruarte A. *Fundamentos y diseño de IRIS: un entorno de programación de Sistemas de Enseñanza Inteligente*. PhD thesis, Universidad del País Vasco

[Ausbel, 1968] Ausbel, D.P.: *The psychology of meaningful verbal learning*. New York: Grune y Stratton

[Barab, 2006] Barab, S.: *Design-Based Research*. In: Sawyer, K. (ed.) *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge (2006)

[Bloom et al., 1956] Bloom, B.S., Engelhart, M.D., Murst, E.J., Hill, W.H. and Drathwohl, D.R.: *Taxonomy of Educational Objectives: The Cognitive Domain*. Longmas.

[Bourdeau et al. 2010] Bourdeau J. and Grandbastien M.: *Modeling Tutoring Knowledge*, in Nkambou, R., Bourdeau, J. et Mizoguchi, R. (Eds.), (2010). *Advances in Intelligent Tutoring Systems*. Heidelberg: Springer Verlag, *Studies in Computational Intelligence*, Volume 308, pp. 123-144.

- [Brown et al. 1975] Brown J.S., Burton R.R., Bell A. G. Sophie. A step towards a reactive learning environment. En *International Journal of Man-Machine Studies*, 1975, 7, pp 675-696
- [Brown et al. 1978] Brown J.S., Burton R. Diagnostic models for procedural bugs in basic mathematical skills. *Cognitive Science*. Vol. 2, pp.155-192
- [Brusilovsky et al., 2007] Brusilovsky P., Millán E.: User Models for Adaptive Hypermedia and Adaptive Educational Systems. In: Brusilovsky, P., Kobsa, A., Nejd, W. (eds.) *The Adaptive Web*, LNCS, vol. 4321, pp. 3--53. Springer, Heidelberg (2007)
- [Brusilovsky et al., 1998a] Brusilovsky, P., Eklund, J., Schwarz, E. Web-based Education for All: A Tool for Development Adaptive Courseware. In *Computer Networks and ISDN Systems (Proceedings of Seventh International World Wide Web Conference, 14-18 April 1998)* 30 (1-7), 291-300.
- [Brusilovsky et al., 1998b] Brusilovsky P., Santic, T., De Bra, P. A Flexible Layout Model for a Web-Based Adaptive Hypermedia Architecture. *Proceedings of the AH2003 Workshop, TU/e CSN 03/04*, pp. 77-86, Budapest, Hungary, Mayo 2003.
- [Bull et al., 2002] Bull, S. & McCalla, G. "Modelling Cognitive Style in a Peer Help Network." *Instructional Science*, 30(6) (2002)
- [Burton et al. 82] Burton R.R. Brown J.S. An investigation of computer coaching for informal learning activities. En *Intelligent Tutoring Systems*. D. Sleeman & J. Brown (Eds.), Academic Press 1982, pp 79-98
- [Carbonell, 1970] Carbonell, J. AI in CAI: An Artificial Intelligent Approach to Computer Aided Instruction. *IEEE Transactions on Man-Machine Systems*. Vol.11 (4). Pp.190-202 (1970)
- [Carr et al., 1977] Carr B., Goldstein I.P. Overlays: A theory of modeling for computer aided instruction. AI Memo 406. AI Laboratory, Massachusetts Institute of Technology.
- [Clancey, 1979] Clancey W.J. Transfer of rule-based expertise through a tutorial dialogue. PhD thesis, Stanford University.
- [De Bra et. al, 2003] De Bra, P., Aerts, A., Berden, B., De Lange, B., Rousseau, B., Santic, T., Smits, D., Stash, N., AHA! The Adaptive Hypermedia Architecture. *Proceedings of the ACM Hypertext Conference*, Nottingham, UK, August 2003, pp. 81-84.
- [De Bra et. al, 2002] De Bra, P., Stash, N., AHA! Adaptive Hypermedia for All. *Proceedings of the SANE 2002 Conference*, Maastricht, May 2002, pp. 411-412.
- [de Vicente et al., 2002] de Vicente, A., Pain, H.: Informing the detection of students' motivational state: an empirical study. In: Cerri, S.A., Gouarderes, G., Paraguacu, F. (eds.) *Proceedings of Sixth International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS 2002*, June 2-7, 2002, Biarritz, France and San Sebastian, Spain, *Lecture Notes in Computer Science* 2363, pp. 955-962. Springer, Berlin (2002)

- [Eyssautier-Bavay et al., 2009] Carole Eyssautier-Bavay, Stéphanie Jean-Daubias, Jean-Philippe Pernin: A model of learners profiles management process. AIED 2009: 265-272
- [Felder et al., 1988] Felder, R.M., Silverman, L.K.: Learning styles and teaching styles in engineering education. Eng. Edu 78(7), 674–681 (1988)
- [Felder et al., 2004] Felder, R.M., Soloman, B.A.: Index of Learning Styles. (2004) <http://www.ncsu.edu/felderpublic/ILSpage.html>.
- [Fernández, 1998] Fernández, I. Estrategias de Enseñanza en un Sistema Inteligente de Enseñanza Asistida por Ordenador. Tesis Doctoral de la Universidad del País Vasco, San Sebastián. (1989)
- [Ferrero, 2004] Ferrero, B.: DETECTive: un entorno genérico e integrable para diagnóstico de actividades de aprendizaje. Fundamentos, diseño y evaluación. Tesis doctoral, Universidad del País Vasco (2004)
- [Ferrero et al., 2005] Ferrero, B., Martín, M., Álvarez, A., Urretavizcaya, M., Fernández-Castro, I. Authoring and Diagnosis of Learning Activities with the KADDET Environment. Journal of Universal Computer Science, vol. 11(9), pp. 1530-1542 (2005)
- [Gagné, 1985] Gagné, R.M.: The conditions of learning. New York: Holt, Rinehart & Wiston.
- [Hardof-Jaffe et al., 2009] Hardof-Jaffe, S., Hershkovitz, A., Abu-Kishk, H., Bergman, O., & Nachmias, R. (2009). How do students organize personal information spaces? In Barnes, T., Desmarais, M., Romero, C., & Ventura, S. (Eds.) Educational Data Mining 2009: 2nd International Conference on Educational Data Mining, Proceedings. Cordoba, Spain. July 1-3, 2009.
- [Honey et al., 1986] Honey, P.; Mumford, A.: The Manual of Learning Styles. Maidenhead, Berkshire. P.Honey, Ardingly House. (1986)
- [Jovanovic et al., 2007] Jovanovic, J., Gasevic, D., Brooks, C., Devedzic, V., and Hatala, M.: LOCO-Analyst: A Tool for Raising Teachers Awareness in Online Learning Environments. in EC-TEL, LNCS 4753,112-126.(2007)
- [Kosba, 2004] Kosba, A.: Generating Computer-Based Advice in Web-Based Distance Education Environments. PhD thesis, University of Leeds (2004)
- [Kosba et al, 2005] Kosba, E., Dimitrova, V., Boyle, R.: Using student and group models to support teachers in web-based distance education. In: Tenth International Conference on User Modeling, pp. 124-133. Springer, LNCS 3538 (2005)
- [Lefevre et al., 2008] Marie Lefevre, Nathalie Guin, Stéphanie Jean-Daubias: Adapte, a Tool for the Teacher to Personalize Activities. Intelligent Tutoring Systems 2008: 699-701

- [Major et al., 1997] Major N., Ainsworth S., Wood D. REEDEM: Exploiting Symbiosis Between Psychology and Authoring Environments. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. Vol. 8, pp 317-340 (1997)
- [Martín et al., 2009] Martín, M., Álvarez, A., Ruiz, S., Fernández-Castro, I., and Urretavizcaya, M.: Helping teachers to track students evolution in a b-learning environment. In *The Ninth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, 342-346 (2009)
- [Mitrovic et al., 1999] Mitrovic, A. and Ohlsson, S. (1999): Evaluation of a Constraint-Base Tutor for a Database Language. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. Vol. 10, pp.238-256.
- [Munro et al., 1997] Munro A., Johnson M. C., Pizzini Q. A., Surmon D. S., Twone D. M., Wogulis J.L., Authoring Simulation-Centered Tutors with RIDES. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. Vol. 8, pp 284-316 (1997)
- [Murray, 1998] Murray T. Authoring Knowledge-Based Tutors: Tools for Content, Instructional Strategy, Student Model, and Interface Design. *The Journal of Learning Sciences*. Vol. 7 (1), pp5-64 (1988)
- [Nilsson, 1980] Nilsson N. (1980) *Principles of Artificial Intelligence*, Tioga Press: Palo Alto, CA.
- [Nungent et al., 2009] R. Nugent, E. Ayers and N. Dean, "Conditional Subspace Clustering of Skill Mastery: Identifying Skills that Separate Students ". *Proceedings for the International Conference on Educational Data Mining 2009*
- [Porayska-Pomst et al., 2008] Kaśka Porayska-Pomst , Manolis Mavrikis, Helen Pain, Diagnosing and acting on student affect: the tutor's perspective, *User Modeling and User-Adapted Interaction*, v.18 n.1-2, p.125-173, February 2008
- [Riding et al., 1991] Riding, R., Cheema, I.: Cognitive Style – an overview and integration. *Educational Psychology* 11(3-4):193-215 (1991)
- [Riding et al., 1998] Riding, R., Rayner, S.: *Cognitive Styles and Learning Strategies: Understanding Style Differences in Learning and Behaviour*. David Fulton Publisher, London (1998).
- [Romero et al., 2003] Romero, C., Ventura, S., de Bra, P., and de Castro, C.: Discovering Prediction Rules in AHA! courses. In *User Modeling*, 25-34.Springer-verlag.(2003)
- [Romero et al., 2004] Romero, C., Ventura, S. and de Bra, P.: Knowledge Discovery with Genetic Programming for Providing Feedback to Courseware Authors. *User Modeling and UserAdapted Interaction*. Vol. 14. No. 5. pp. 425-464. 2004
- [Romero et al., 2007] Romero, C., Ventura, S. and García, E. "Data mining in course management systems: Moodle case study and tutorial", *Computer & Education*: 368-384. (2007)

- [Romero et al., 2009] C. Romero, S. Ventura, E. García, C. de Castro. Collaborative Data Mining Tool for Education. Educational Data Mining (EDM). 299-306 (2009)
- [Russell et al. 1988] Russell D.M., Moran T. P., Jordan D. S. The instructional-Design Environment. In Psozka, J et al., Intelligent Tutoring Systems: Lesson Learned. pp 203-228: Lawrence Erlbaum (1988)
- [Singley et al., 2005] Singley, M.K. and Lam, R.B.: The Classroom Sentinel: Supporting Data-Driven Decision-Making in the Classroom. in 3th World Wide Web Conference,315–322.(2005)
- [Solimeno et al., 2008] Solimeno A et al: The influence of students and teachers characteristics on the efficacy of face-to-face and computer supported collaborative learning Computers & Education Vol 51:1, pp 109-128 (2008)
- [Srivastava et al., 2000] Srivastava, J. Cooley, R. Deshpande, M. Tan, P.: 2000, Web Usage Mining: Discovery and Applications of Usage Pattern from Web Data. *ACM SIGKDD*, 1(2):12–23 (2000)
- [Stevens et al. 82] Stevens, A., Collins A., Goldin S., Misconceptions in students' understanding. En Intelligent Tutoring Systems, Academic Press 1982, pp 13-24 (1982)
- [Trella, 2006] Trella, M. MEDEA: Metodologías y herramientas para el desarrollo de entornos inteligentes de enseñanza y aprendizaje. Tesis Doctoral de la Universidad de Málaga, Málaga. (2006)
- [Vassileva et al., 1998] Vassileva J.and Deters R.: Dynamic Courseware Generation on the WWW, *British Journal of Educational Technologies*, 29 (1), 5-14 (1998)
- [Vassileva, 1997] Vassileva J. Dynamic Courseware Generation, *Communication and Information Technologies*, 5 (2), 87-102 (1997)
- [WCET, 2004] WCET, Western Cooperative for Educational Telecommunications, Edu-tools. Accedido Enero 2011. <http://www.edutools.info/course/compare/>
- [Weber, 2001] Weber, G., Brusilovsky, P. ELM-ART: An Adaptive Versatile System for Web-based Instruction. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 12, 351-384. (2001)
- [Wenger, 1987] Wenger E. "Artificial Intelligence and Tutoring Systems. Computational and Cognitive Approaches to the Communication of Knowledge". Morgan Kauffman, Los Altos, San Francisco, CA USA (1987)