

Personalización de contenidos en sistemas hipermedia educativos adaptativos: una revisión

Content personalization in adaptive educational hypermedia systems: Review

Luz Cobaleda, Freddy Duitama*

Grupo de Investigación Ingeniería y Software, Universidad de Antioquia.
Ciudad Universitaria, 21-316, Apartado Aéreo 1226, Medellín-Colombia

(Recibido el 27 de noviembre de 2008. Aceptado el 9 de mayo de 2009)

Resumen

En un Sistema Hipermedia Adaptativo Educativo (SHAE), la información que describe a los estudiantes y su comportamiento son elementos significativos para el soporte personalizado que se pueda brindar. Este artículo hace una reseña de los SHAE, analiza la manera como usan diversas características del estudiante en el proceso de adaptación y hace un especial énfasis en los avances logrados en combinar la información del usuario individual con los grupos que se conformen; elemento que cobra relevancia en aquellas ocasiones que el SHAE disponga de limitada información individual del usuario.

----- *Palabras clave:* Personalización, sistemas de hipermedia adaptativa, grupos de estudiantes, modelo de usuario

Abstract

For Educational Adaptive Hypermedia Systems (EAHS), user behavior and user profile information are meaningful issues for the personalization process. This paper offers a review of EAHS and analyzes how user profile is used by adaptation techniques. As a central point, it emphasis in advances obtained of combining user profiles with user groups; this approach is especially useful when EAHS lacks of enough individual user information.

----- *Keywords:* Personalization, adaptive hypermedia system, user groups, user model

* Autor de correspondencia: teléfono: + 57 +4 + 219 64 29, fax: + 57 + 4 + 219 65 65, correo electrónico: cobaleda@udea.edu.co (L. Cobaleda).

Introducción

El uso generalizado de la hipermedia ha permitido que tanto los recursos disponibles en la Web como los tipos de usuarios que los solicitan se hayan multiplicado generosamente. Esta situación plantea a los sistemas de información Web el problema de entregar a cada tipo de usuario aquellos contenidos que sean realmente de su interés. Inconvenientes como la pérdida en el espacio de búsqueda y navegación o la saturación con información no relevante conllevan a que, en muchas situaciones, el usuario no alcance los objetivos que persigue [1, 2, 3]. Desde hace algunos años, la hipermedia adaptativa (HA) han tenido como objetivo brindar un soporte al usuario en la búsqueda, uso y manejo de la información acorde a su perfil, metas, tareas, intereses, etc., ofreciendo así a cada usuario individual (o grupo de ellos) información cercana a la que necesitan [1, 3, 4, 5]. En el contexto del e-learning se refiere a crear una experiencia de aprendizaje que se ajuste a condiciones como características personales, estrategia pedagógica, interacción del estudiante, resultado del proceso actual de aprendizaje en un periodo de tiempo, con la intención de incrementar el criterio de éxito [6].

En este artículo se analiza la manera como en los SHAE ha evolucionado el uso del perfil del estudiante en el proceso de adaptación y su aprovechamiento en la personalización dirigida a un estudiante individual o a grupos de ellos. Se hace especial énfasis en analizar de qué manera se ha intentado robustecer el proceso de personalización con las características derivadas de grupos.

En la primera sección se introducen las técnicas y estrategias de adaptación, y las características tradicionales y estándares para modelar el usuario; en la segunda se analiza la evolución de las características usadas en el proceso de personalización en diferentes SHAE; en la tercera se presentan las conclusiones y los temas abiertos de investigación.

Técnicas y estrategias de adaptación

Brusilovsky [1] hace una recopilación de las técnicas de adaptación presentes en los sistemas de HA y propone una clasificación en tres grandes categorías [3, 7]: a) La *selección adaptativa*, su objetivo es recuperar contenidos filtrando y priorizando los resultados de acuerdo con el perfil que se tiene del usuario. b) La adaptación en la *presentación* se refiere a desplegar de forma adaptativa los contenidos, para esto inserta u oculta fragmentos de estos, agrega explicaciones complementarias, y utiliza diferentes medios (música, video, animación, etc.), etc. [1]. c) El *soporte a la navegación adaptativa* se logra adaptando enlaces que están presentes en tiempo de diseño o generando nuevos dinámicamente, con el fin de guiar al usuario a la información más relevante [3]. Una de las técnicas más conocidas es la *guianza directa*, aplicada con un botón de “próximo mejor paso” donde el sistema calcula y recomienda el mejor paso para el usuario. Otras técnicas muy usadas son, la anotación adaptativa que consiste en acompañar los enlaces con comentarios acerca del estado de ese contenido, bien sea comentarios de texto o visuales y la metáfora del semáforo -viñetas coloreadas de rojo, amarillo o verde junto al enlace- para indicar por ejemplo, el nivel de conocimientos de un estudiante en un tema específico [3].

Modelamiento del usuario

Los sistemas adaptativos recogen la información de los usuarios en un *modelo de usuario* (*modelo del estudiante* en sistemas de aprendizaje [8]) y la utilizan para comportarse diferente con cada uno de ellos. Esta información se obtiene bien sea por especificación directa del usuario o por observación que hace el sistema a todas sus acciones. En el *modelo de usuario* la cantidad y variedad de las características que se captan de un estudiante dependen del efecto de adaptación que se desea lograr en un sistema educativo adaptativo [2, 3, 9].

Características del estudiante usadas en los SHAE

Las características usadas tradicionalmente para personalizar en los SHAE a nivel del individuo son: *conocimientos adquiridos, intereses, metas, conocimientos previos y rasgos individuales* [1, 9]. El conocimiento adquirido es cambiante a medida que se usa el sistema y refleja una ganancia o pérdida de conocimiento que puede ser referido como un valor escalar o un valor cualitativo. Los intereses generalmente expresan preferencias para el usuario. Las metas representan el propósito educativo inmediato; igualmente es una característica muy cambiante en el tiempo, incluso en la misma sesión. Los conocimientos previos se refieren a las experiencias previas de un usuario fuera del dominio específico del sistema Web (profesión, responsabilidades, experiencia en áreas relacionadas), generalmente las especifica el usuario y no son tan cambiantes en el tiempo. Los rasgos individuales son las características que en conjunto definen a un usuario, por ejemplo, rasgos de personalidad (introvertido/extrovertido), estilos cognitivos (hábitos para organizar y representar la información), estilos de aprendizaje (la forma en que se prefiere aprender [9, 10], por ejemplo inductivo / deductivo).

Un grupo complementario de características de usuario en la adaptación en SHAE son [8]: a) datos personales como edad, cultura, género; b) parámetros cognitivos y psicológicos como la atención, memoria, habilidades cognitivas; c) datos de la interacción del estudiante con el sistema, como información del tiempo tomado para leer los materiales educativos o en responder preguntas, información de los intentos para pasar una prueba o en conseguir la respuesta correcta en preguntas y la información de enlaces visitados, número de visitas a un sitio, etc.

El fortalecimiento de las técnicas de personalización que se apoyan en la formación de grupos de usuarios y en procesos de adaptación asociados a ellos ha sido caso de estudio principalmente en el área del aprendizaje colaborativo. La adaptación basada en grupos [8] consiste en adaptar el

comportamiento del sistema a las características de éste, bien sea definido previamente (estereotipos) o creado dinámicamente a partir del uso del sistema. El estereotipo es una de las aproximaciones más antiguas para modelar un usuario [9] y representa una colección de atributos que frecuentemente ocurren en la gente [11]. En el razonamiento basado en estereotipos se toma una impresión inicial de un usuario que se usa para construir un modelo inicial del mismo basado en suposiciones predeterminadas [11]; es decir, el usuario es clasificado inicialmente en unos grupos preestablecidos, la mayoría de las veces estáticos; posteriormente puede ser reclasificado en la medida que interactúe con el sistema [11]. Todos los usuarios pertenecientes a un mismo estereotipo son tratados con los mismos mecanismos de adaptación ignorando las características individuales y prevaleciendo las características generales [8, 9]. Esta aproximación tiene efecto personalizador limitado en los SHAE; sin embargo, se ha ido refinando para manejar características de baja granularidad [9] e incluso se ha utilizado en combinación con modelos de usuario individual [9, 12, 13]. En la propuesta de Vasilyeva et al. [8] se sugiere solo crear estereotipos con características de los estudiantes que no sean muy cambiantes como datos personales (edad, género, idioma, entre otros.), profesionales (habilidades, experiencia, conocimientos previos), parámetros psicológicos y cognitivos (de la atención del usuario, memoria y habilidades cognitivas), psicológicos, del ambiente (ancho de banda) y preferencias de usuario. De manera complementaria, Brusilovsky plantea la necesidad de desarrollar esquemas de adaptación para los SHAE que procesen en línea la información de comportamiento interactivo del usuario, actualicen con ella su perfil y la usen inmediatamente en el proceso de personalización [9].

Estándares para modelar al usuario

Los estándares más difundidos para modelar al usuario y facilitar el intercambio de información entre sistemas son el IEEE P1484.2 Public and Private Information for Learners (PAPI Lear-

ner) [14] y el IMS Learner Information Package (LIPS) [15]. El estándar IMS conserva información orientada especialmente al currículum vitae, mientras que el estándar PAPI se orienta al desempeño del estudiante durante sus estudios. Para sistemas personalizados estas dos perspectivas se complementan [16].

Sistemas de hipermedia educativos adaptativos

En la tabla 1 se presenta un resumen de los SHAE más representativos construidos en los últimos 15 años [17]. Se resalta en cada uno las características del rastro o *comportamiento* del estudiante que se usan para personalizar a usuarios *individuales*, a *grupos* y para la formación de grupos (*agrupación*), y que a su vez son adicionales a las tradicionales, como conocimientos adquiri-

dos, intereses y metas que están presentes en la mayoría de los SHAE.

Análisis de los sistemas de hipermedia adaptativa para la educación

A partir de las técnicas de adaptación recopiladas por Brusilovsky [1], se evidencia el impacto positivo que las tecnologías de apoyo a la *navegación* han tenido en ambientes educativos, pues han sido usadas en la mayoría de estos sistemas. El empleo de la anotación de enlaces se ha convertido en una estrategia útil y de motivación para guiar al estudiante por los contenidos más apropiados e informarle acerca de su nivel de conocimiento [18, 19]; usando paradigmas como la metáfora del semáforo, el ordenamiento de enlaces y recientemente la destinación adaptativa de enlaces [20, 21].

Tabla 1. Características del comportamiento del estudiante usadas para personalizar a individuos, grupos y formación de grupos

Sistema	Características del comportamiento del estudiante usadas para personalizar a individuos, grupos y formación de grupos.
ELM-ART [22, 23]	ELM Adaptive Remote Tutor. Comportamiento Páginas visitadas. Individual Selección de ejemplos relevantes o similares. Ordena enlaces por relevancia. Metáfora del semáforo para presentar páginas visitadas. Dirigida a grupos No Agrupación No.
ActiveMath [24, 25, 26]	Comportamiento Identificación del contenido leído o del ejercicio usado; tiempo de lectura, y tasa de éxito del ejercicio. Individual Generación dinámica de cursos, selecciona recursos que no hayan sido usados por el estudiante o que cumplan con su petición del tiempo máximo para resolver exámenes. Dirigida a grupos No Agrupación No.
Alfanet [6, 27, 28, 29, 30]	Active Learning For Adaptive interNET. Comportamiento Usuario que interactúa, nivel de participación en una conversación grupal, si muestra iniciativa, si responde ciertos mensajes, fecha de interacción, recurso accedido, operación realizada, interacción; tiempo de lectura de mensajes, páginas visitadas. Individual Sugiere usuarios para contactar, materiales para trabajar. Dirigida a grupos Induce comunicación entre estudiantes Agrupación Tipos de colaboración: Participativo, dedicado, servicial, no colaborativo, comunicativo, con iniciativa, comunicativo [30].
SIETTE [31, 32]	Spanish translation of Intelligent Evaluation System using Tests for TeleEducation. Comportamiento Fecha en que el test fue tomado, Preguntas que se le han presentado al estudiante. Individual . Evita repetir preguntas. Dirigida a grupos No Agrupación No.
ELENA [33, 34]	Comportamiento Páginas visitadas Individual . Recomienda enlaces relacionados con páginas visitadas. Dirigida a grupos No Agrupación No.

Tabla 1. Continuación

Sistema	Características del comportamiento del estudiante usadas para personalizar a individuos, grupos y formación de grupos.
Web-PVT [12, 35]	Web Passive Voice Tutor. Comportamiento Páginas visitadas, errores comunes. Individual Muestra páginas y genera comentarios en los enlaces según la visita del estudiante. Clasifica el error cometido y da un consejo individualizado. Dirigida a grupos No Agrupación No.
AtoL [13, 36]	The Adaptive Tutor for Online Learning. Comportamiento Id estudiante, tiempo inicial y final de la interacción, identificación del módulo y de la pregunta a resolver, respuesta del estudiante, tipo de respuesta, secuencia de preguntas respondidas, entre otros. Individual Usa tipo de preguntas respondidas y acierto en respuestas para ubicarlo en un estereotipo. Dirigida a grupos Se presentan materiales al estudiante de acuerdo con su grupo. Agrupación Por patrones de aprendizaje (desafiante, regular y reafirmante) basado en secuencia de preguntas respondidas y el nivel de aciertos.
LON-CAPA [37, 38, 39]	Comportamiento Número total de respuestas correctas, número de intentos para alcanzar la respuesta correcta, promedio de intentos, número de éxitos en el primer, segundo, y entre el tercer y el noveno intentos, tiempo para resolver los problemas, entre otros. Individual . Clasifica un estudiante en un grupo para predecir su ejecución (nota). Dirigida a grupos No dirige acciones de personalización al grupo como unidad. Agrupación Nota.
AHA! [20, 21]	Adaptive Hypermedia Architecture. Comportamiento Páginas Visitadas Individual . Anotar enlaces con colores. Dirigida a grupos No Agrupación No.
TADV [40, 41]	Teacher ADVisor. Comportamiento Fecha de acceso, el tiempo de cada interacción, el tipo de información accedida (objeto de aprendizaje, evaluación o actividad comunicativa), la actividad realizada (leer texto, resolver problemas, comentar o preguntar en un foro de discusión, etc.) y el resultado cuando resuelva una evaluación. Individual Determina nivel de conocimiento en función del tiempo de lectura empleado en un objeto de aprendizaje. Dirigida a grupos Genera consejos según grado de comunicación y/o acceso a los cursos. Agrupación Por edad, nacionalidad, preferencias, y conocimientos previos.
Verlat y Saloun [42, 43]	Comportamiento Tipo de evento (ingreso en el sistema, uso de un concepto, etc.), identificación del estudiante, dirección IP, navegador, sistema operativo, tiempo de inicio y finalización de uso de la acción, curso y concepto. Individual Ordena enlaces de acuerdo con el patrón de navegación del estudiante: secuencial, por saltos y de primera condición. Dirigida a grupos No Agrupación Por patrón de navegación del estudiante (secuencial, por saltos y de primera condición).
SCALE [44]	Comportamiento Nombre de usuario, fecha del último ingreso y retiro de la aplicación, profesión, tiempo utilizado en una actividad, Número de veces que solicitó retroalimentación, tipo de retroalimentación. Para el grupo: actividades elaboradas, tipo de colaboración usado, fecha y tiempo utilizado en una actividad. Individual El tipo de retroalimentación que puede incluir respuestas dadas por otros estudiantes a una actividad específica. Esto basado en las preferencias y la secuencia de entrega definida por el profesor (por ejemplo, primero la definición, luego ejemplos y tercero la respuesta correcta). Dirigida a grupos No Agrupación No.

La adaptación en la *selección* de materiales también ha mostrado ser una técnica eficaz y se ha basado especialmente en características indivi-

duales del estudiante, como su nivel de conocimientos, sus objetivos de aprendizaje y sus preferencias. Las metas del usuario en la mayoría

de SHAE se asocian al objetivo de aprendizaje, entendido como lo que se desea aprender o evaluar; y pese a que existen propuestas como la de Jaramillo et al, [45], en la que se especifica un objetivo de aprendizaje en los términos que un docente lo define, en los SHAE se limitan a hacer equivalente objetivo a concepto que se desea aprender. En la *presentación* de contenidos, aunque no es una técnica común en los SHAE, predominan las recomendaciones, y en pocos casos varía la interfaz de acuerdo con escenarios, estilos de aprendizaje y modalidad cognitiva. En asocio con las características que presenta Brusilovsky [1], en los SHAE se han usado los escenarios de aprendizaje como examen, resumen, tour guiado; plantillas y/o parámetros para creación de cursos, presentaciones o entregas, categorías de errores, relevancia de un tópico para el objetivo de aprendizaje, respuestas dadas por otros estudiantes. Estas variantes evidencian evolución en el uso de las alternativas de personalización, y aunque la mayoría toma criterios pre-establecidos, también se ha vislumbrado la posibilidad de sacar provecho del rastro que deja el usuario. En el *modelo del usuario*, las características individuales del estudiante y el nivel de conocimientos son ampliamente usados por las tecnologías de adaptación reseñadas. En algunos sistemas se contempla la posibilidad que el estudiante especifique los temas que conoce; pero esta auto clasificación requiere de extensos cuestionarios, tiene un alto margen de imprevisión y son poco atractivos para los usuarios. El nivel de conocimiento también ha sido determinado mediante factores como el tiempo de uso de un recurso, criterio de alto nivel de imprecisión en los casos en que el estudiante haga interrupciones no percibidas por el sistema; y en otros casos se determina en función de la taxonomía de Bloom[46] buscando mayor precisión. En los SHAE, los intereses del aprendiz se han asimilado a preferencias, e incluyen tópicos como colores de la presentación, idioma preferido, si requiere comentarios en los enlaces, si desea guías mientras usa el sistema, si desea texto o multimedia, cómo presentar los enlaces, tipos de retroalimentación, si prefiere una recomendación, si desea un tipo de objetos de

aprendizaje, evaluaciones y actividades de comunicación preferidos. Si bien esta información permite brindar una experiencia visual muy personal y agradable al estudiante, al ser poco cambiante y explícita, no permite que el sistema responda a las preferencias cambiantes del estudiante en su proceso de aprendizaje. Los rasgos individuales del estudiante en este tipo de sistemas, se han especificado especialmente mediante los estilos de aprendizaje y la modalidad cognitiva para adaptar el contenido según el estilo o modalidad del aprendiz. La aproximación de Stash [47] se apoya en acciones del estudiante tales como tipo de contenido visitado, medio usado, secuencia de navegación, para ayudar a determinar el estilo del estudiante y ejecutar posteriormente la adaptación aprovechando para ello la información que se tiene de su rastro.

Una aproximación complementaria para especificar el modelo del usuario es la conformación de grupos. El interés de explorar esta alternativa en las técnicas de personalización, surge de las limitaciones que éstas presentan, cuando la información del individuo es insuficiente. Para que una técnica opere adecuadamente se requiere de una completa información del estudiante. Una manera de subsanar parcialmente los vacíos que se tengan del perfil del usuario es tratar de asociarlo rápidamente a un grupo, bien sea porque los instructores crean grupos o estereotipos y les definen un conjunto de características para quien aspire a ser miembro de él, o porque el sistema conforma grupos dinámicamente a partir de ciertos rasgos comunes en los estudiantes y toma información derivada del grupo para usar en los individuos miembros. Una primera aproximación para formar grupos son los estereotipos, que se han implementado definiendo *el comportamiento* de los estudiantes (participativo, dedicado, servicial, no colaborativo, comunicativo, con iniciativa) [30], definiendo su *nivel de conocimientos* (novatos, principiantes, intermedios y avanzados), con la estimación del *descuido o negligencia* mientras se resuelven ejercicios (muy cuidadosos, medianamente cuidadosos y descuidados), a partir del conocimiento de *otros lenguajes* (griego y no

griego, francés, alemán), por el *patrón de aprendizaje* (desafiante, regular y reafirmante), o por *patrones de comportamiento* en la navegación (secuencial, por saltos y de primera condición). A través de cuestionarios se puede asignar a usuario a un estereotipo, sin embargo esta opción tiene sus problemas, dado que los estudiantes pueden subestimar o sobreestimar sus niveles; y rechazar cuestionarios muy largos. Una solución que combine estereotipos y un refinamiento posterior del modelo de acuerdo con su comportamiento es una opción usada con frecuencia [8, 9, 36]. Obsérvese además, que el conocimiento previo, tal cual lo define Brusilovsky [1], se asemeja al uso de estereotipos; sin embargo, en los sistemas reseñados arriba éstos se reducen a establecer conocimientos previos del estudiante en el dominio de conocimiento del ambiente de aprendizaje.

Una segunda aproximación, que se ha trabajado poco en los SHAE, es conformar dinámicamente grupos a partir del comportamiento del estudiante y personalizar de acuerdo con éstos; aquéllos sistemas que lo han intentado recurren principalmente a características como el nivel de conocimiento demostrado o estilos de aprendizaje usados. Alfanet [27, 30] se apoya en el tipo de colaboración y comunicación del estudiante con otros; por ejemplo, si en su participación en conversaciones tiene iniciativa o responde a ciertos mensajes. AtoL [13, 36] forma grupos de usuarios de acuerdo con la secuencia de preguntas respondidas y el nivel de aciertos clasificados como patrones de aprendizaje, para luego adaptar a grupos presentando materiales conforme con ese patrón. La propuesta de Verlat y Saloun [42, 43] crea sus grupos a partir del patrón de navegación. El trabajo de Castellano[48] persigue mejorar la presentación del material educativo y sugerir enlaces relevantes a partir de un algoritmo que encuentra perfiles de usuarios según las respuestas de un cuestionario de Gramática Inglesa, agrupando los estudiantes con habilidades similares; sin embargo, los autores reconocen que por la sencillez de los cuestionarios, los resultados no son lo suficientemente completos para ser usados en un SHAE.

Existen igualmente técnicas de agrupación de estudiantes que aún no se han incorporado ni evaluado dentro de un SHAE. Omado Genesis [49] es una herramienta dirigida a instructores para soportar el proceso de formación de grupos, que pueden ser definidos con base en algunas características de los estudiantes: enteramente homogéneos, enteramente heterogéneos o grupos mixtos. Esto se hace aplicando los algoritmos homo-A, hete-A y algoritmos genéticos. Las características que toman del estudiante son su personalidad y su desempeño: por ejemplo, su nivel de competencia, su estilo de aprendizaje, un indicador de un comportamiento colaborativo. Su caracterización es cualitativa, variando entre los valores de insuficiente, algo insuficiente, promedio, algo suficiente y suficiente; en esta propuesta, cada aprendiz pertenece solamente a un grupo. Por su lado, Graf y Bekele [50] proponen una aproximación matemática para la formación de grupos heterogéneos incorporando atributos de la personalidad y el nivel de desempeño de un estudiante como actitud de trabajo en grupo, interés por el tema, motivación al logro, la timidez, el nivel de desempeño en la materia, y la fluidez en el idioma de instrucción. Cada atributo puede tener valores enteros entre 1 y 3 (bajo-alto). Igualmente, proveen una herramienta que implementa ese modelo matemático, que puede ser usada para complementar sistemas de tutoría colaborativos.

Conclusiones y trabajos futuros

En este artículo se ha mostrado la evolución del uso de características del estudiante en el proceso de adaptación en los SHAE, tanto a nivel individual como grupal, así como los mecanismos usados para la formación de grupos. Este recorrido evidencia la prevalencia de las técnicas de adaptación para el soporte a la navegación y a la selección de materiales; que las características del estudiante útiles para los procesos de personalización han sido su nivel de conocimiento, intereses, metas y rasgos individuales; que el rastro creado por el estudiante cuando interactúa con el sistema se han explorado incipientemente para la adaptación individual y grupal; en este

mismo sentido, la formación de grupos con información del rastro del estudiante todavía es un campo de exploración; preferiblemente se ha recurrido a la utilización de estereotipos, que con todas sus limitaciones, siguen vigentes siempre que se combinen con modelos individuales del usuario. Entre los temas abiertos para la investigación y estrechamente relacionados con la personalización se tiene: a) medir la efectividad de procesos de adaptación a estudiantes y a grupos de ellos con modelos individuales y de grupo enriquecidos con características del uso y comportamiento del estudiante. b) estrategias semi-automáticas [3] para la clasificación de los recursos educativos sobre la Web, que permita definir el conjunto de metadatos estrictamente necesarios para facilitar la reutilización y la recuperación de éstos en el proceso de personalización a grupos o individuos, tema crítico con el aumento continuo de recursos educativos tanto en repositorios centralizados como distribuidos [16,33]. c) estrategias para definir los criterios de agrupación de estudiantes, de modo que se aproveche la posible pertenencia de un estudiante a varios grupos simultáneamente y que además estos grupos se aprovechen eficazmente en los procesos de personalización integrados en los SHAE.

Referencias

1. P. Brusilovsky. "Adaptive hypermedia". *User Modeling and User Adapted Interaction, Ten Year Anniversary Issue*. Alfred Kobsa. Amsterdam. 2001. pp. 87-110.
2. P. Brusilovsky. "Adaptive Educational Hypermedia: From generation to generation". *Proc. of 4th Hellenic Conference on Information and Communication Technologies in Education*. Athens. Greece. 2004. pp. 19-33.
3. P. Brusilovsky, W. Nejdl. "Adaptive Hypermedia and Adaptive Web". *Practical Handbook of Internet Computing*. P. Munindar (Editor). Chapman Hall & CRC Press. Raleigh (USA). 2005. pp. 1.1-1.14.
4. P. Dolog, N. Henze, W. Nejdl. "Logic-based open hypermedia for the semantic Web". *Proc. of International Workshop on Hypermedia and the Semantic Web*. Hypertext 2003 Conference. Nottingham. August 2003.
5. M. Baldoni, C. Baroglio, N. Henze. "Personalization for the Semantic Web". *Proc. of Summer School Reasoning Web 2005*. Msida, Malta. Rewerse. LNCS 3564. Springer -Verlag. Berlin. 2006. pp. 173-212.
6. P. Van Rosmalen, J. Boticario, O. Santos. "The full Life Cycle of Adaptation in aLFanet eLearning Environment". *Journal: Learning Technology Newsletter*. Vol. 4. 2004. pp. 59-61.
7. P. Brusilovsky. "From adaptive hypermedia to the adaptive Web (Invited talk)". *Proc. of Mensch & Computer*. Stuttgart. Germany. 2003. pp. 21-24.
8. E. Vasilyeva, M. Pechenizkiy, P. De Bra. "Adaptation of Feedback in e-learning System at Individual and Group Level". *Proc. of PING 2007 Int. Workshop on Personalization in E-Learning Environments at Individual and Group Level (UM 2007)*. Atenas (Grecia). 2007. pp. 49-56.
9. P. Brusilovsky, E. Millán. "User models for adaptive hypermedia and adaptive educational systems". *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 4321. 2007. pp. 3-53.
10. N. Stash. "Incorporating cognitive styles in AHA!". *The adaptive hypermedia architecture*. Innsbruck. Austria. 2004. pp. 378-383.
11. J. Kay. "Stereotypes, Student Models and Scrutability". G.F.C.a.V.K.e. Gauthier (editor.). LNCS. Springer-Verlag, Berlin. 2000. pp. 19-30.
12. V. Tsiriga, M. Virvou. "Modelling the Student to Individualise Tutoring in a Web-Based ICALL". *International Journal of Continuing Engineering Education and Life-Long Learning (IJCEELL)*. Vol. 13. 2003. pp. 350-365.
13. J. Yoo, C. Pettey, S. Yoo, J. Hankins, C. Li, S. Seo. "Intelligent tutoring system for CS-I and II laboratory". *Proc. of the 4th Annual Southeast Regional Conference*. ACM-SE 44. ACM. New York. 2006. pp. 146-151.
14. IEEE P1484.2/D7. *Draft Standard for Learning Technology. Public and Private Information (PAPI) for Learners (PAPI Learner)*. 2000. pp. 1-123.
15. IMS Global Learning Consortium, Inc. IMS Learner Information package specification. <http://www.imsglobal.org/profiles/lipinfo01.html>. Consultada el 6 de noviembre de 2006.
16. P. Dolog, W. Nejdl. "Benefits and Challenges of the Semantic Web for User Modelling". *Proc. of AH2003 Workshop*. User Modelling Conference. 2003. pp. 99-111.

17. T. Kubeš. "Overview of Existing Adaptive Hypermedia e-Learning Systems". *6th year of seminar Technologies for e-Learning*. Master Thesis. TPEV 2007. pp. 1-186.
18. P. Brusilovsky, S. Sosnovsky, M. Yudelson. "Addictive links: The motivational value of adaptive link annotation in educational hypermedia". *Proc. of 4th International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH'2006)*. Dublin. Ireland. Springer Verlag. Berlin. 2006. pp. 51-60.
19. P. Brusilovsky, S. Sosnovsky. "Engaging students to work with self-assessment questions: a study of two approaches". *Proc. of the 10th Annual SIGCSE Conference on innovation and Technology in Computer Science Education*. Caparica. Portugal: ITiCSE '05. ACM Press. New York. 2005. pp. 251-255.
20. P. De Bra, D. Smits, N. Stash. "The design of AHA!". *Proc. of the Seventeenth Conference on Hypertext and Hypermedia*. Hypertext '06. ACM Press. New York. 2006. pp. 133-134.
21. P. De Bra, A. Aerts, B. Berden, B. De Lange, B. Rousseau, T. Santic, D. Smits, N. Stash. "AHA! The adaptive hypermedia architecture". *Proc. of the Fourteenth ACM Conference on Hypertext and Hypermedia*. Hypertext '03. ACM Press. New York. 2003. pp. 81-84.
22. G. Weber, P. Brusilovsky. "ELM-ART: An adaptive versatile system for Web-based instruction". *International Journal of Artificial Intelligence in Education. Special Issue on Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems*. Vol. 12. 2001. 351-384.
23. P. Brusilovsky, E. Schwarz, G. Weber. "ELM-ART: An Intelligent Tutoring System on World Wide Web". *Proc. of the Third international Conference on intelligent Tutoring Systems. Lecture Notes In Computer Science*. Vol. 1086. 1996. pp. 261-269.
24. E. Melis, J. Büdenbender, E. Andrès, A. Frischauf, G. Gogvadze, P. Libbrecht, M. Pollet, C. Ullrich. "ActiveMath: A Generic and Adaptive Web-Based Learning Environment". *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. Vol. 12. 2001. pp. 385-407.
25. G. Gogvadze, A. Palomo, E. Melis. "Interactivity of Exercises in ActiveMath." *Towards Sustainable and Scalable Educational Innovations Informed by the Learning Sciences Sharing. Good Practices of Research Experimentation and Innovation*. Vol. 133. 2005. pp. 109-115
26. LeActiveMath. *Language-Enhanced, User-adaptive, Interactive eLearning for Mathematics*. <http://www.leadactivemath.org/> Consultada el 6 de noviembre de 2006.
27. C. Fuentes, J. Carrión, C. Arana, J. G. Boticario, C. Barrera, O. Santos, P. Van Rosmalen J. A. Schmidt, I. Hoke, F. Barros, R. Canada. *Project Deliverable Report. Active Learning for Adaptive Internet. ALFANET IST-2001-33288*. Report No. D8.2. 2005. pp. 1-33.
28. O. Santos, E. Gaudioso, C. Barrera, J. Boticario. "ALFANET: An Adaptive E-Learning Platform". *2nd Int. Conference on Multimedia and Information & Communication Technologies in Education M- ICTE*. Badajoz. Spain. 2003. pp. 1938-1943.
29. J. Boticario, O. Santos. "Issues in developing adaptive learning management systems for higher education institutions". *International Workshop on Adaptive Learning and Learning Design (ADALE)*. Dublin, Ireland. 2006. pp. 55-63.
30. O. C. Santos, J. Boticario. "Supporting a collaborative task in a web-based learning environment with Artificial Intelligence and User Modelling techniques". *Proc. of the VI International Symposium on Educative Informatics (SIE'04)*. Cáceres. Spain. 2004. pp. 257-264.
31. R. Conejo, E. Guzmán, E. Millán. "SIETTE: A Web-based tool for adaptive teaching". *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. Vol. 14. 2004. pp. 29-61.
32. E. Guzmán, R. Conejo, J. Pérez de la Cruz. "Improving Student Performance Using Self-Assessment Tests". *Intelligent Systems, IEEE*. 2007. Vol. 22. pp. 46-52.
33. P. Dolog, N. Henze, W. Nejd, M. Sintek. "Personalization in Distributed eLearning Environments". *Proc. of WWW2004-The Thirteen International World Wide Web Conference*. ACM Press. New York. 2004. pp. 170-179.
34. IST programme. ELENA. Smart Space for Learning. <http://www.elena-project.org/en/index.asp?p=8-1>. Consultada el 10 de marzo de 2006.
35. M. Virvou, V. Tsiriga. "Web Passive Voice Tutor: an Intelligent Computer Assisted Language Learning System over the WWW". *Proc. of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies: Issues, Achievements and Challenges, IEEE Society Press*. Los Alamitos. 2001. pp. 131- 134.
36. C. Li, J. Yoo. "Modeling student online learning using clustering". *Proc. of the 44th Annual Southeast Regional Conference. ACM-SE 44*. New York. 2006. pp. 186-191.

37. B. Minaei-Bidgoli. *Data Mining For A Web-Based Educational System*. Doctoral Thesis. Michigan State University. 2004. pp. 1-220.
38. B. Minaei-Bidgoli, D. Kashy, G. Kortemeyer, W. Punch. "Predicting Student Performance: An Application Of Data Mining Methods With An Educational Web-Based System". *Proc. of ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*. 2003. Boulder (CO). pp. T2A13 – T2A18.
39. G. Kortemeyer, E. Kashy, W. Benenson, W. Bauer. "Experiences using the open-source learning content management and assessment system LON-CAPA in introductory physics courses". *The American Journal of Physics*. Vol. 76. 2008. pp. 438-444.
40. E. Kosba. *Generating computer-based advice in web-based distance education environments*. Doctoral Thesis. University of Leeds. 2004. pp. 1-202.
41. E. Kosba, V. Dimitrova, R. Boyle. "Using Student and Group Models to Support Teachers in Web-Based Distance Education". *10th International Conf. on User Modeling*. Berlin. 2005. pp. 124-133.
42. P. Šaloun, Z. Velart. "Adaptive hypermedia as a means for learning programming". *Workshop Proc. of the Sixth international Conference on Web Engineering. ICWE '06*. Vol. 155. New York. 2006. pp. 11.
43. Z. Velart, P. Šaloun. "User behavior patterns in the course of programming in C++". *Proc. of the Joint international Workshop on Adaptivity, Personalization & the Semantic Web. APS '06*. New York. 2006. pp. 41-44.
44. A. Gogoulou, E. Gouli, M. Grigoriadou, M. Samarakou, D. Chinou. "A Web-based Educational Setting Supporting Individualized Learning, Collaborative Learning and Assessment". *Educational Technology & Society*. Vol. 10. 2007. pp. 242-256.
45. A. Jaramillo, J. Duitama, J. Vélez. "Búsqueda de objetos de aprendizaje a partir de objetivos instruccionales escritos en lenguaje natural". *Tecno Lógicas*. Vol. 19. 2007. pp. 185 - 201.
46. B. Bloom, R. David. *Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals, by a committee of college and university examiners. Handbook I: Cognitive Domain*. 2^a ed. Addison Wesley Publishinf Company. New York. 1956. pp. 59.
47. N. Stash. *Incorporating Cognitive/Learning Styles in a General-Purpose Adaptive Hypermedia System*. Eindhoven University of Technology. The Netherlands. 2007. pp. 1-224.
48. G. Castellano, C. Castiello, A. Fanelli, M. Sidella. "Symbolic Fuzzy Clustering for Mining User Profiles". *Advanced Design, Production and Management Systems*. Vol. 2003. pp. 445-450.
49. A. Gogoulou, E. Gouli, G. Boas, E. Liakou, M. Grigoriadou. "Forming Homogeneous, Heterogeneous and Mixed Groups of Learners". *Proc. of Workshop on Personalisation in E-Learning Environments at Individual and Group Level, 11th International Conference on User Modeling*. Atenas (Grecia). 2007. pp. 33-40.
50. S. Graf, R. Bekele. "Forming Heterogeneous Groups for Intelligent Collaborative Learning Systems with Ant Colony Optimization". *Proc. of the 8th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS 2006), Lecture Notes in Computer Science*. Heildelberg (Alemania). Vol. 4053. pp. 217-226.