

E-learning y Planificación Inteligente: Mejorando la Personalización de Contenidos

Antonio Garrido y Lluvia Morales

Title—E-learning and intelligent planning: improving content personalisation.

Abstract— Combining learning objects is a challenging topic because of its direct application to curriculum generation, tailored to the students' profiles and preferences. Intelligent planning allows us to adapt learning routes (i.e. sequences of learning objects), thus highly improving the personalization of contents, the pedagogical requirements and specific necessities of each student.

This paper presents a general and effective approach integrated in Moodle to extract metadata information from the e-learning contents, a form of reusable learning objects, to generate a planning domain in a simple, automated way. Such a domain is used by an intelligent planner that provides an integrated recommendation system, which adapts, stores and reuses the best learning routes according to the students' profiles and course objectives. If any inconsistency happens during the route execution, e.g. the student fails to pass an assessment test which prevents him/her from continuing the natural course of the route, the system adapts and/or repairs it to meet the new objectives.

Index Terms— Educational technology, Electronic learning, Computer aided instruction, Courseware

I. INTRODUCCIÓN

EL sistema universitario europeo actual se encuentra en una profunda transformación. Durante los últimos años, la integración de las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación), con su aplicación directa a las tecnologías del aprendizaje y del e-learning, está presente en las universidades de todo el mundo, incluidas las españolas. La mayoría de universidades ofrece un servicio de campus virtual con plataformas de e-learning y sistemas de gestión del aprendizaje (del inglés LMS, *Learning Management System*), diseñados para dar soporte y mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje en todos sus aspectos: visualización y navegación de contenidos (formados a partir de objetos de aprendizaje reutilizables), estudiantes y profesores.

Los LMSs se usan ampliamente como apoyo a la enseñanza, bien sea presencial, a distancia, o mediante un modelo mixto, y proporcionan herramientas interactivas para almacenar y ofrecer un acceso casi ilimitado y ubicuo a todo tipo de contenidos. Dichos contenidos suelen estar implementados utilizando estándares XML tales como

SCORM, IMS o IEEE LOM [1]-[3], con el objetivo de facilitar e incrementar su interoperación. Pero los LMSs no deben convertirse en meros repositorios de rígidos contenidos que apenas fomentan la interoperabilidad entre sus elementos. Tampoco deben ofrecer los mismos contenidos, y de la misma forma, a todos los estudiantes, sin tener en cuenta sus conocimientos, preferencias y objetivos personales [4] –esto contradice claramente el modelo basado en las necesidades individuales promulgado, entre otros, por el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES, <http://www.eees.es>). Por lo tanto, es esencial construir herramientas inteligentes de recomendación, planificación y secuenciación que ofrezcan los contenidos que mejor se adaptan a cada estudiante [5], [6]. Esto plantea un desafío importante; ya no basta con describir los contenidos sino que hay que especificar, por ejemplo, qué contenidos son pedagógicamente más adecuados para cada estilo de aprendizaje (adaptación al perfil), cómo se relacionan estos contenidos entre sí, qué tienen que hacer los alumnos y en qué orden y, finalmente, cómo monitorizar y adaptar la ruta de aprendizaje ante contingencias inesperadas (por ejemplo, una tarea de evaluación no superada o una actividad que excede del plazo previsto) [5], [7].

Desde el punto de vista educativo también se imponen nuevos desafíos: i) se requiere una nueva visión del paradigma educativo, donde el profesor ya no tiene el rol principal ni marca el ritmo del proceso de aprendizaje; ii) hay que extender el proceso de generación de contenidos, apoyándose en expertos pedagogos y diseñadores, de manera que éste se centre más en la adaptación al perfil del estudiante, pues no todos los estudiantes son iguales ni aprenden de la misma forma; y iii) hay que replantear el método didáctico, pensando en la diversidad de estudiantes y sus necesidades/perfiles individuales.

A grosso modo, la planificación inteligente puede mejorar notablemente la personalización de rutas de aprendizaje de una forma prácticamente transparente al usuario. Este hecho representa la principal contribución del presente trabajo, dentro de un sistema mayor denominado *myPTutor* (<http://servergrps.dsic.upv.es/myptutor>). La idea subyacente es la de construir una ruta fuertemente conexa y estructurada que satisfaga el perfil del estudiante. Así, aunque la estructura del curso pueda estar predefinida, la elección y el orden de contenidos pueden variar en función del perfil del estudiante. Por ejemplo, un objeto de aprendizaje de tipo “diagrama” puede ser muy recomendable para un estudiante con perfil “visual” pero no para uno “verbal”, y justo lo contrario ocurre para un contenido de tipo “textual” [8]. Por lo tanto, la misma ruta no será igual de válida para uno u otro estudiante.

Una vez definida la ruta, ésta tiene que ejecutarse y

A. Garrido pertenece a la Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022, Valencia (España). e-mail: agarridot@dsic.upv.es.

L. Morales pertenece a la Universidad Tecnológica de la Mixteca, Carretera a Acatlima Km. 2.5, 69000, Huajuapán de León, Oax (México). e-mail: lluviamorales@mixteco.utm.mx.

DOI (Digital Object Identifier) Pendiente

monitorizarse. Y no basta con ofrecer vistas de navegación y gráficas de resultados, por muy atractivas que éstas resulten, sino que hay que controlar y reaccionar ante cualquier contingencia. La planificación inteligente también resulta muy adecuada durante este proceso, adaptando la ruta a la nueva situación, haciéndola válida de nuevo, y minimizando los cambios para evitar inconvenientes al estudiante y profesorado.

A lo largo de este artículo se abordarán los trabajos más recientes que sirven de base a nuestra propuesta, así como la justificación de uso de la planificación inteligente para la personalización de contenidos. Posteriormente describiremos la estructura general de *myPTutor* y su caso de aplicación en un LMS concreto (*Moodle*). A continuación se presentarán los resultados de una evaluación cualitativa y cuantitativa. Seguidamente se proporcionarán algunas ideas básicas sobre las lecciones aprendidas y las principales limitaciones que hemos encontrado para, finalmente, concluir el trabajo.

II. TRABAJO RELACIONADO Y MOTIVACIÓN

A. Trabajo Relacionado

En la literatura reciente se han utilizado diversas técnicas para la personalización de contenidos y la generación de rutas de aprendizaje individualizadas en el contexto de e-learning. Entre otras muchas, se han aplicado matrices de adyacencia, modelos de programación entera y de satisfacción de restricciones, redes neuronales y métodos de *soft computing* [4],[9]-[11]. En esencia, estas técnicas simulan el proceso de toma de decisiones del profesor. Consecuentemente, el flujo de objetos de aprendizaje está predefinido y resulta demasiado orientado hacia el profesor.

Por otro lado, gran parte de las propuestas anteriores no toman en cuenta el uso de estándares durante el proceso de personalización: i) extracción de información, ii) generación de la ruta de aprendizaje, iii) despliegue y ejecución de la ruta, así como iv) monitorización de la correcta ejecución de la misma.

Diversos autores han propuesto métodos que facilitan la representación y extracción de la información del curso por parte del profesor, utilizando como base el estándar IEEE-LOM. Algunos ejemplos de estos métodos son el uso de ontologías [12] y también de flujos de trabajo (*workflows*) [13], [14] que no sólo permiten plasmar las relaciones entre objetos de aprendizaje, sino también la participación de los diversos roles (profesor/estudiante/grupo de estudiantes) en cada una de las actividades del curso.

En línea con los estándares actuales también se cuenta con trabajos como [15], que permiten la adaptación de la ruta utilizando IMS-MD y el despliegue de la misma a través del estándar IMS-CP. Sin embargo, el estándar por sí mismo es estático y, si se requiere cambiar la secuencia en tiempo de ejecución, se recurre a una replanificación completa de la ruta contenida en este paquete estándar [16], o de una planificación continua [15]. Esta última técnica es muy útil si se acepta la premisa de que el estudiante no podrá tener acceso a su ruta completa desde el inicio, si no a medida que la vaya cursando.

En lo que respecta a la fase de monitorización, no conocemos trabajos recientes que hagan referencia a la

combinación de técnicas automáticas de adaptación y uso de estándares. Generalmente, este proceso es complejo y consume tantos recursos que sólo se usan en sistemas dedicados o Sistemas Tutores Inteligentes que revisan cuál es el siguiente objeto a ejecutar una vez analizado el resultado de su objeto predecesor [17]. Esto no resulta viable en aquellos casos en los que el estudiante desea conocer la ruta de aprendizaje completa a priori.

B. Motivación. ¿Qué es la Planificación Inteligente y por qué usarla en E-learning?

La mayor parte de nuestras actividades diarias conlleva algún tipo de planificación inteligente para determinar una serie de actividades que, cuando se ejecutan, permiten alcanzar un conjunto de objetivos educativos. Y precisamente en esto consiste la planificación: dado un dominio de tareas posibles, seleccionar un subconjunto de las mismas (*i.e.* plan, donde las tareas se ordenan de acuerdo a sus relaciones causa-efecto) que tras su ejecución nos permita pasar de un estado inicial a un estado objetivo [18]. Por tanto, la planificación inteligente ofrece posibilidades muy interesantes en su aplicación al campo de e-learning y a la determinación de rutas de aprendizaje.

La principal ventaja de utilizar técnicas de planificación es que reducen el hueco entre las necesidades de e-learning y la adaptación de los contenidos a los estudiantes. Concretamente, la planificación va más allá de los propios entresijos de e-learning y da soporte a una mejor personalización de contenidos, manejando restricciones temporales, de recursos, e incluso funciones de optimización multi-objetivo.

Metafóricamente hablando, la generación de una ruta de aprendizaje se parece mucho a un proceso de planificación. Tal y como se observa en la Tabla I, los elementos principales de e-learning son: i) el background y las preferencias del estudiante, ii) los objetivos de aprendizaje a conseguir, iii) los objetos de aprendizaje adaptados al perfil del estudiante, iv) las relaciones de orden, y v) la ruta de aprendizaje particularizada para el estudiante. Mediante un proceso de extracción del conocimiento, que se presentará posteriormente, estos elementos se pueden hacer corresponder, respectivamente, con los siguientes elementos de planificación: i) el estado inicial, ii) los objetivos del problema, iii) las acciones, iv) los enlaces causales, y v) el plan solución. La optimización multi-objetivo que ofrece la planificación también es muy interesante, pues los

TABLA I
E-LEARNING VS. PLANIFICACIÓN INTELIGENTE

E-learning	Planificación
Background y preferencias del estudiante	Estado inicial del problema
Objetivos de aprendizaje	Objetivos del problema (<i>top level goals</i>)
Objetos de aprendizaje adaptados al perfil, con sus pre-requisitos y resultados	Acciones con precondiciones y efectos
Relaciones de orden	Relaciones por enlaces causales (causa-efecto)
Ruta de aprendizaje personalizada	Plan solución

Correspondencia entre los elementos típicos de e-learning y de planificación.

estudiantes y profesores suelen preferir una ruta de aprendizaje de calidad, en términos de tiempo, uso de recursos y/o coste, y no simplemente una ruta cualquiera.

Diversos autores han utilizado la planificación para generar rutas de aprendizaje basadas en las preferencias de los estudiantes [15], [19]-[21], pero cuentan con algunas limitaciones: i) no hacen uso extensivo de los estándares de e-learning, ii) no se visualizan ni integran en los LMSs más comunes, y iii) están limitados a una ontología específica y/o paradigma de planificación. Por el contrario, en nuestro trabajo podemos utilizar cualquier planificador estándar para encontrar la mejor ruta de aprendizaje, con la idea de ofrecer el contenido adecuado al estudiante adecuado. Por otro lado, también soportamos los metadatos estándar de e-learning, basados en LOM e IMS [1], [3], que se extraen automáticamente y se compilan como un modelo de planificación estándar en PDDL (*Planning Domain Definition Language*, [18]). Adicionalmente, los profesores pueden definir tanto objetivos obligatorios como opcionales.

III. NUESTRO ENFOQUE MYPTUTOR. TÉCNICAS EMPLEADAS

Nuestro trabajo, denominado *myPTutor* (ver Fig. 1), consiste en un sistema completo que va desde la extracción de conocimiento de e-learning hasta la planificación, monitorización y reparación/adaptación, en caso de ser necesario.

Los estándares de e-learning etiquetan los contenidos mediante metadatos, inspirados típicamente en el modelo IEEE LOM. El **primer paso** consiste, por tanto, en procesar esta información mediante técnicas automáticas de ingeniería de conocimiento para extraer sus características esenciales. Tras la compilación y generación automática del modelo de planificación, el **segundo paso** es utilizar un planificador para conseguir un plan o ruta de aprendizaje. El **tercer paso** consiste en la ejecución de la ruta de aprendizaje en un LMS con soporte a la monitorización (dado por metadatos adicionales sobre relaciones causa-efecto proporcionados en el plan). Tras la ejecución de un objeto de evaluación (test, cuestionario, etc.) se realiza una comprobación del estado real obtenido y el esperado. En caso de discrepancias se utiliza una técnica de validación de planes para comprobar si la ruta sigue siendo ejecutable [22]. Si no lo es, el **cuarto paso** implica una reparación o adaptación del plan. A continuación profundizamos en estos cuatro pasos.

A. Metadatos en E-learning. Extracción de Conocimiento y Generación del Modelo de Planificación en PDDL

Los objetos de aprendizaje disponen de multitud de metadatos que los etiquetan y caracterizan. Aunque existen muchos elementos (descriptores e identificadores generales, anotaciones, taxonomías, restricciones de copyright, etc.) sólo unos pocos son esenciales para la generación de un modelo de planificación (ver Fig. 2), que en PDDL consiste en la definición de un archivo de texto para el dominio y uno para el problema de planificación.

La descripción detallada de la correspondencia entre las etiquetas XML del modelo LOM y el dominio+problema en PDDL excede del ámbito de este artículo, pero remitimos al lector interesado a [23]. De forma resumida, el proceso de extracción de conocimiento y generación del modelo PDDL

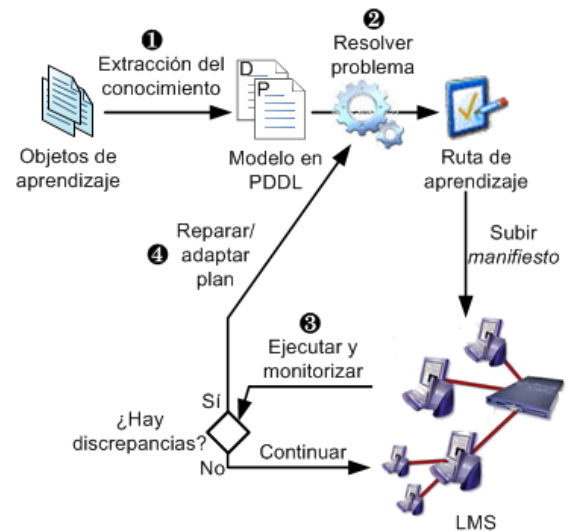


Fig. 1. Esquema general de *myPTutor* en cuatro pasos.

consiste en una compilación polinómica muy eficiente que recupera para cada objeto de aprendizaje: i) su nombre (*Identifier+Title* en la Fig. 2); ii) su duración media, como una medida de su complejidad (*TypicalLearningTime* en la Fig. 2); iii) sus prerequisites, basados en las relaciones de dependencia y adaptación al perfil, y recursos utilizados (*Relations* y *OtherPlatformRequirements*, respectivamente, en la Fig. 2); y iv) sus efectos, en términos de resultados de aprendizaje (como una medida del *Coverage* de la Fig. 2).

Adicionalmente también se extrae la información relevante del estudiante a partir de un *e-portfolio* personalizado basado en el estándar IMS-LIP [3], lo que facilita todavía más la adaptación al perfil. De esta forma se obtiene el estilo de aprendizaje del estudiante, sus preferencias y objetivos de aprendizaje incluyendo, opcionalmente, su interés en obtener la ruta más corta o de menor coste, que proporciona una idea de la métrica a optimizar que se utilizará en la planificación. Adicionalmente, *myPTutor* permite añadir información sobre el perfil del estudiante que no se encuentre en este estándar y que el profesor considere importante para la personalización de contenidos.

B. Resolución del Problema de Planificación

La generación de un modelo PDDL estándar permite utilizar un amplio abanico de planificadores, independiente de las técnicas de resolución que utilicen. En <http://ipc.icaps-conference.org> se puede consultar un listado

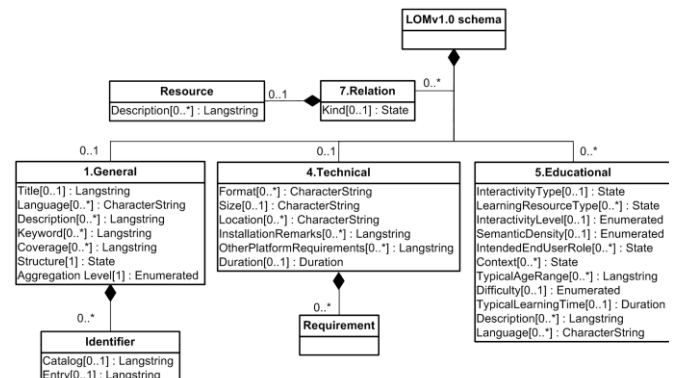


Fig. 2. Elementos esenciales del esquema LOM para la extracción de un modelo de planificación. Vista resumida de http://en.wikipedia.org/wiki/Learning_object_metadata. Imagen bajo los términos de licencia GNU.

de planificadores que soportan PDDL, con sus características adicionales asociadas, que han participado en las competiciones internacionales de planificación.

La tarea del planificador es la de decidir los mejores contenidos, en forma de objetos de aprendizaje, para que cada estudiante alcance sus objetivos mediante los objetos más adecuados para su perfil. Por lo tanto, el resultado del planificador es una ruta indicando qué, cuándo y con qué recursos se cursarán dichos objetos de aprendizaje.

C. Monitorización y Búsqueda de Discrepancias

Una vez se dispone de una ruta de aprendizaje para un estudiante, ésta se debe cargar en un LMS con soporte a la monitorización, tal y como se observa en el esquema de la Fig. 1. El LMS es, por tanto, útil no sólo para la visualización y navegación de los contenidos, sino también para monitorizar el progreso de los estudiantes en su ruta de aprendizaje, detectando discrepancias significativas entre el estado actual (real) y el esperado. Es decir, siempre tras la ejecución de un objeto de evaluación (test, cuestionario, realización de un ejercicio, etc.) se realiza una comprobación para ver si el estudiante ha alcanzado el estado marcado en la ruta. En nuestro sistema la monitorización sólo se realiza tras un acto de evaluación: no realizamos una monitorización continua debido a su elevada complejidad. Hay que recordar que nos encontramos en un escenario de e-learning donde los estudiantes se conectan/desconectan frecuentemente y cada uno trabaja a su propio ritmo por lo que una evaluación continua, basada en los tiempos de conexión, puede resultar inapropiada.

Las discrepancias pueden aparecer por varios motivos: i) cambios en el background o perfil del estudiante, que hacen que los objetos de aprendizaje elegidos en el plan ya no sean los adecuados; ii) por la violación de algún plazo, como por ejemplo no terminar a tiempo algún acto de evaluación; iii) por la no disponibilidad de algún recurso requerido por un objeto de aprendizaje; o iv) porque el estudiante no supera algún tipo de evaluación que le impide seguir el flujo normal del curso. En caso de detectarse una discrepancia que impide la consecución de los objetivos de aprendizaje del curso es necesario replanificar para adaptar la ruta de aprendizaje al nuevo estado actual.

D. Replanificación y/o Adaptación de la Ruta de Aprendizaje

En caso de discrepancias se utiliza una técnica de validación de planes que, comenzando desde el nuevo estado, simula la ejecución del plan restante y analiza si todavía es ejecutable. Si no lo es, el profesor puede repararlo manualmente o solicitar la adaptación automática. Dicha adaptación se puede realizar mediante distintas técnicas. En nuestro sistema aplicamos una técnica de planificación basada en casos (CBP, *Case-Based Planning*) [5], [22]. Esta técnica reutiliza planes, previamente aprendidos y almacenados en una biblioteca de planes, para obtener nuevas soluciones más eficientemente. Esto resulta muy interesante en el contexto de e-learning por dos motivos. En primer lugar, se puede aprender de planes pasados y adaptarlos a las condiciones de los estudiantes actuales. Al fin y al cabo, es razonable pensar que estudiantes similares cometan errores similares y la forma de resolver dichos errores también sea parecida. En segundo lugar, en término

medio suele ser más eficiente adaptar un plan existente a las condiciones actuales (reutilizando el plan original tanto como sea posible), que generar un nuevo plan desde cero. Esto lleva asociado una ventaja adicional: los estudiantes y profesores se benefician de una *inercia* en las rutas de aprendizaje, al no estar cambiando de ruta constantemente ante cualquier discrepancia, lo que a su vez fomenta una mejor continuidad en el proceso de aprendizaje.

Una vez adaptado el plan a la nueva situación, éste se valida por el profesor antes de su ejecución. Si el profesor da su aprobación, dicho plan se almacena en la biblioteca de planes como un nuevo caso base para poder ser utilizado en el futuro por el planificador basado en casos. Tras esto se vuelve al ciclo presentado en la Fig. 1.

E. Integración en un LMS. Moodle como Caso Práctico

Los cuatro pasos presentados anteriormente se pueden implementar en un sistema inteligente que permita: i) recabar de una manera relativamente fácil información sobre los estudiantes y objetos de aprendizaje, y ii) tener control total sobre la ejecución de la secuencia de aprendizaje recomendada inicialmente por la herramienta de planificación.

Nuestro enfoque es suficientemente flexible para ser compatible con cualquier LMS. Como prueba de concepto, hemos utilizado *Moodle (Module Object-Oriented Dynamic Learning Environment, <http://moodle.org>)*, un LMS implementado en PHP como una aplicación Web open-source. *Moodle* implementa módulos para comunidades colaborativas de e-learning y simplifica la gestión de contenido, mediante la importación de paquetes en el estándar SCORM y actividades variadas que pueden integrarse en el mismo, además de evaluación mediante cuestionarios.

Nuestro sistema está implementado sobre el código original de *Moodle*. Aunque no explicaremos aquí todos los detalles técnicos, ha sido necesaria la implementación de un nuevo módulo para soportar el modelo de iniciativa mixta entre usuarios (estudiantes y profesores) y servicios de planificación. Los cambios más significativos son:

- En la base de datos, definiendo nuevas tablas para soportar las relaciones entre las precondiciones y los objetos de aprendizaje, así como los objetivos de aprendizaje de cada estudiante.
- En la capa lógica, para ofrecer una interfaz de comunicación entre *Moodle* y el módulo de planificación (implementado como un servicio Web). También ha sido necesario implementar código de soporte para la monitorización de los contenidos SCORM.
- En la interfaz gráfica de usuario (IGU), ofreciendo formularios para el profesorado y los estudiantes, tal y como se observa en la y Fig. 4, respectivamente.

El funcionamiento global es relativamente sencillo. El profesor define los contenidos (objetos de aprendizaje almacenados dentro de un paquete SCORM) del curso, indicando qué objetivos son obligatorios y cuáles opcionales, y las precondiciones iniciales que deben satisfacerse en el curso (). Por otro lado, el estudiante define

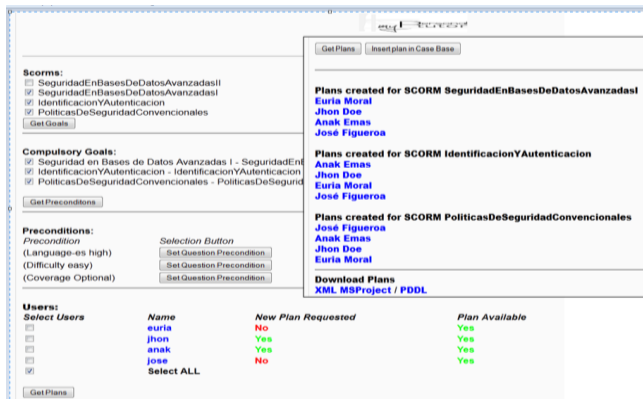


Fig. 3. Interfaz para el profesor: definición de opciones curriculares para la personalización y generación de los planes adaptados a los estudiantes.

su background y decide qué objetivos adicionales desea, incrementando así la posibilidad de personalización de contenidos (Fig. 4). Si posteriormente, durante la ejecución del plan, aparece alguna discrepancia se muestra el contenido que sigue siendo válido y el que ha dejado de ser viable hasta su futura adaptación (indicado en la Fig. 4). Finalmente, es interesante destacar que aunque en la adaptación, ejecución y monitorización de las rutas de aprendizaje se han utilizado interfaces implementadas dentro de la plataforma de Moodle, su implementación en PHP puede reutilizarse en otros LMSs similares.

IV. EVALUACIÓN

Una profunda evaluación de nuestro enfoque es difícil ya que requiere la colaboración de muchos profesores, alumnos y la disponibilidad de cursos de distintas temáticas. Desde un punto de vista formal, se puede realizar una evaluación cualitativa y cuantitativa. Aunque estas evaluaciones forman todavía parte de nuestro trabajo en curso, podemos presentar ciertos resultados, incluidos con más detalle en [5] y [24].

Desde el punto de vista cualitativo, hemos aplicado hasta el momento diversos cuestionarios a grupos reducidos de al menos 5 profesores que han impartido los cursos de Programación Orientada a Objetos y/o Inteligencia Artificial. También se han aplicado cuestionarios a estudiantes del área de Informática que han recibido o se encuentran recibiendo dichos cursos, de manera que sea posible analizar la calidad de las rutas de aprendizaje y su adaptación al perfil. Algunas de las preguntas incluidas en los mismos son:

- ¿El número de objetos de aprendizaje es apropiado para el curso?
- ¿La duración de la secuencia de objetos es apropiada?
- ¿La adaptación de los contenidos a los estudiantes, según su estilo de aprendizaje y perfil es apropiada?

Con estos cuestionarios se trata de evaluar, entre otros aspectos: i) la consistencia del contenido planificado con respecto a los objetivos del curso, ii) la adaptación de dichos contenidos al perfil del estudiante, iii) el tamaño, e indirectamente, la complejidad del curso, iv) la viabilidad de este enfoque en opinión del encuestado, etc. En general, los profesores consideran que la adaptación automática al perfil se realiza de forma correcta, aunque en algunos casos no son capaces de razonar el porqué; se trata de algo que saben por experiencia pero que resulta difícil de explicar. Los



Fig. 4. Interfaz para el estudiante: personalización y visualización de su plan.

profesores también coinciden en que un conocimiento mínimo a priori sobre planificación no es necesario pero sí recomendable. En el caso de los estudiantes, las rutas de aprendizaje personalizadas se valoran muy positivamente (frente a la típica secuencia de objetos de aprendizaje que es igual para todos los estudiantes). La evidencia demuestra, por tanto, que la personalización es una característica muy apreciable. Y tanto estudiantes como profesores consideran este enfoque útil y altamente recomendable.

Desde el punto de vista cuantitativo, hemos podido realizar experimentos para evaluar: i) la escalabilidad del enfoque, y ii) la bondad de las técnicas de reparación/adaptación basadas en casos (CBP). Concretamente, hemos creado cientos de problemas sintéticos con hasta 100 estudiantes que simulan la aparición de discrepancias durante la ejecución de las rutas de aprendizaje. El resultado, mucho más detallado en [24], ha sido que la reparación es al menos tan rápida como volver a resolver un nuevo problema, y la solución que se proporciona es de mejor calidad. Es decir, la nueva ruta se mantiene fiel a la original tanto como es posible, en lugar de devolver una nueva y totalmente distinta de la original; esto último no gusta ni a profesores ni a estudiantes por la pérdida de *inercia* que ello conlleva.

V. LECCIONES APRENDIDAS Y LIMITACIONES DETECTADAS

Google proporciona millones de resultados en respuesta a la búsqueda sobre “objeto de aprendizaje” o “learning object” que, junto a los repositorios existentes (ej. <http://www.merlot.org>, <http://www.ariadne-eu.org> o <http://www.ocwconsortium.org>), nos permite disponer de terabytes de información en forma de recursos digitales reutilizables. Sin embargo, intentar manejar estos objetos de forma aislada resulta de poca utilidad, ya que su verdadera utilidad es en combinación con otros objetos para formar contenidos más complejos. Y precisamente ésta es una de las principales limitaciones que hemos encontrado en nuestro trabajo: existe una carencia importante de repositorios que no sólo den acceso a objetos aislados de

calidad (en muchas ocasiones los metadatos están vacíos), sino también la información sobre sus relaciones, dependencias y métodos de evaluación del aprendizaje de sus contenidos. Una falta de etiquetado simplifica la construcción del objeto de aprendizaje, pero luego dificulta enormemente su relación con otros objetos.

Por otro lado, los estándares actuales de etiquetado de objetos de aprendizaje no proporcionan toda la información de la que pudieran beneficiarse las técnicas de planificación inteligente [5], [24] como por ejemplo recursos complejos y las restricciones temporales que puedan tener asociados. Claramente, los metadatos existentes ofrecen suficiente información desde un punto de vista pedagógico, pero no disponen de suficiente información sobre restricciones de tiempo y recursos que puedan resultar útiles en actividades grupales que requieran algún tipo de sincronización. Esto es fundamental para soportar actividades colaborativas, compartición de recursos y manejo de restricciones particulares, independientemente del LMS adoptado. A pesar de ello, los metadatos actuales son suficientes para permitir un proceso de personalización de contenidos de aprendizaje razonablemente potente.

Finalmente, conviene destacar que, inicialmente, el modelo docente descrito en este artículo es más exigente que el tradicional en lo que respecta a la dedicación docente del profesorado. El modelo aquí presentado requiere de un cambio sustancial en el paradigma de generación de contenidos digitales, además de un gran esfuerzo de diseño y desarrollo que los profesores son, muchas veces, reacios a adoptar. Sin embargo, a medida que se va avanzando en el curso, esta carga extra se va reduciendo notablemente, además de que el profesor se va familiarizando con el proceso de generación de objetos de aprendizaje. También es importante señalar que con este modelo no se reduce el control del profesor sobre los contenidos del curso y la evolución de sus estudiantes. Por el contrario, se trata de potenciar y facilitar el seguimiento por medio de un sistema de recomendación que permite tomar en cuenta las necesidades personales, tanto del profesor como del estudiante.

VI. CONCLUSIONES

La tendencia actual en la educación a distancia gira en torno al despliegue de contenidos en entornos de aprendizaje basados en LMSs y al empaquetado de dichos contenidos como objetos de aprendizaje organizados en base a estándares SCORM. El objetivo es que estos contenidos puedan venderse, intercambiarse entre plataformas y/o universidades, o simplemente ser accedidos por los estudiantes de manera remota. Y todo ello en distintos entornos de aprendizaje basados en LMSs. Siguiendo esta filosofía, en este artículo hemos presentado un sistema genérico implementado sobre Moodle que facilita la utilización de interfaces genéricas de configuración, integración y administración del sistema de adaptación basado en planificación inteligente.

Las herramientas de planificación no sólo permiten personalizar las rutas de aprendizaje, sino también ejecutar y monitorizar su progreso de manera que sea posible adaptarlas en caso de que ese progreso no sea el esperado. El uso de la planificación es altamente apreciado por

estudiantes, pero menos popular entre profesores que, de alguna forma, son reacios a abandonar su rol tradicional de *planificadores humanos*. En cualquier caso, tanto estudiantes como profesores comparten la opinión de que la aplicación de técnicas de planificación resulta muy útil para ofrecer el mejor contenido a la mejor persona en el momento justo. Así pues, la integración de técnicas inteligentes con LMSs por medio de enfoques similares al nuestro, con el fin de personalizar rutas de aprendizaje, es un tema que tiene aún mucho camino que recorrer en cuestión de investigación y desarrollo.

ACKNOWLEDGMENT

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el programa Consolider de Agreement Technologies, CSD2007-0022 INGENIO 2010, el proyecto del Ministerio Español de Ciencia e Innovación, MICINN TIN2011-27652-C03-01 y el proyecto Prometeo 2008/051 de la Generalitat Valenciana.

REFERENCES

- [1] LOM, "Draft Standard for Learning Object Metadata. IEEE. Rev. 16 February 2005", in http://ltsc.ieee.org/wg12/files/IEEE_1484_12_03_d8_submitted.pdf.
- [2] SCORM, "Sharable Content Object Reference Model", in <http://www.adlnet.gov/capabilities/scorm>.
- [3] IMS-GLC, "IMS Specifications", in <http://www.imsglobal.org>, Open University of the Netherlands.
- [4] P. Brusilovsky, and J. Vassileva, "Course Sequencing Techniques for Large-Scale Web-Based Education", in *Int. Journal Continuing Engineering Education and Lifelong Learning*, 13(1/2), 2003, pp.75-94.
- [5] L. Morales, A. Garrido, and I. Serina, I., "Planning and Execution in a Personalised E-learning Setting", in *Proc. Conferencia Española para la Inteligencia Artificial*, LNAI 7023, Springer-Verlag, 2011, pp. 232-242.
- [6] A. Ruiz-Iniesta, G. Jimenez-Diaz, and M. Gomez-Albarran, "Personalización en Recomendadores Basados en Contenido y su Aplicación a Repositorios de Objetos de Aprendizaje", in *IEEE-RITA*, 5(1), 2010, pp. 31-38.
- [7] R. Perez-Rodriguez, M.C. Rodríguez, L.E. Anido-Rifón, and M. Llamas-Nistal, "Execution Model and Authoring Middleware Enabling Dynamic Adaptation in Educational Scenarios Scripted with PoEML", in *Journal of Universal Computing Science*, 16(19), 2010, pp. 2821-2840.
- [8] R.M Felder, and L.K. Silverman, "Learning and Teaching Styles in Engineering Education", in *Engr. Education*, 78(7), 1988, pp. 674-681.
- [9] A. Garrido, E. Onaindia, and O. Sapena, O., "Planning and Scheduling in an E-learning Environment. A Constraint-Programming-based Approach", in *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21(5), 2008, pp. 733-743.
- [10] N. Idris, N. Yusof, and P. Saad, "Adaptive course sequencing for personalization of learning path using neural network", in *Int. J. Advanced Soft. Comput. Appl.*, 1(1), 2009, pp. 49-61.
- [11] F.E. Martinez, G. Magoulas, S. Chen, and R. Macredie, "Recent Soft Computing Approaches to User Modeling in Adaptive Hypermedia", in *Proceedings of Adaptive Hypermedia, LNCS 3137*, 2004, pp. 104-114.
- [12] Yu-Liang Chi, "Ontology-based curriculum content sequencing system with semantic rules", in *Expert Systems with Applications*, 36(4), 2009, pp. 7838-7847.
- [13] A. González-Ferrer, L. Castillo, J. Fdez-Olivares, and L. Morales, "Workflow Planning for E-learning Center Management", in *IEEE Int. Conference on Advanced Learning Technologies*, 2008, pp. 985-986.
- [14] M. Cesarini, M. Monga, and R. Tedesco, "Carrying on the e-learning process with a workflow management engine", in *Proceedings of the ACM symposium on Applied computing*, 2004, pp. 940-945.
- [15] C. Ullrich, and E. Melis, "Pedagogically Founded Courseware Generation Based on HTN-Planning", in *Expert Systems with Applications*, 36(5), 2009, pp. 9319-9332.

- [16] M.d.P.P. Ruiz, M.J.F. Díaz, F.O. Soler, and J.R.P Pérez, "Adaptation in Current e-learning Systems", in *Computer Standards & Interfaces*, 30(1-2), 2008, pp. 62-70.
- [17] J. Vassileva, "Dynamic Course Generation", in *Journal of Computing and Information Technology*, 5, 1997, pp. 87-102.
- [18] M. Ghallab, D. Nau, and P. Traverso, "Automated Planning. Theory and Practice", *Ed. Morgan Kaufmann*, 2004.
- [19] L. Castillo, L. Morales, A. Gonzalez-Ferrer, J. Fdez-Olivares, D. Borrajo, and E. Onaindia, "Automatic Generation of Temporal Planning Domains for E-learning", in *Journal of Scheduling*, 13(4), 2010, pp. 347-362.
- [20] E. Kontopoulos, D. Vrakas, F. Kokkoras, N. Bassiliades, and I. Vlahavas, "An Ontology-based Planning System for E-course Generation", in *Expert Systems with Applications*, 35(1-2), 2008, pp. 398-406.
- [21] C. Limongelli, F. Sciarrone, M. Temperini, and G. Vaste, G., "Adaptive Learning with the LS-PLAN System: a Field Evaluation", in *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 2(3), 2009, pp. 203-215.
- [22] I. Serina, "Kernel Functions for Case-Based Planning", in *Artificial Intelligence*, 174, 2010, pp. 1369-1406.
- [23] A. Garrido, E. Onaindia, L. Morales, L. Castillo, S. Fernandez, and D. Borrajo, "Modeling E-Learning Activities in Automated Planning", in *Proceedings of the 3rd Int. Competition on Knowledge Engineering for Planning and Scheduling*, 2009, pp. 18-27.
- [24] A. Garrido, L. Morales, and I. Serina, "Using AI Planning to Enhance E-learning Processes", in *Int. Conference on Automated Planning and Scheduling*, 2012, pp. 47-55.



Antonio Garrido Tejero es doctor en Informática y profesor titular en la Universitat Politècnica de València (España). Sus áreas de interés incluyen las técnicas de Inteligencia Artificial basadas en búsqueda, principalmente la planificación, scheduling y satisfacción de restricciones, así como sus posibles aplicaciones como en el caso de e-learning y adaptación de contenidos de aprendizaje.



Lluvia Carolina Morales Reynaga es doctora en Ciencias de la Computación y Tecnología Informática por la Universidad de Granada (España). Sus líneas de investigación son Inteligencia Artificial Aplicada al e-learning, Planificación y Scheduling Inteligentes e Ingeniería de Conocimiento. Actualmente es profesora Titular de la Universidad Tecnológica de la Mixteca (México).