

Objetos virtuales: una aproximación a la construcción de objetos de aprendizaje en Arqueología

Alfredo Fernández-Valmayor, Mercedes Guinea, Mariano Jiménez, Antonio Navarro, Antonio Sarasa

Resumen— En este artículo se describen las primeras etapas de un proyecto educativo que tiene como objetivo principal convertir los objetos arqueológicos y etnográficos de que dispone el “Departamento de Historia de América II: Antropología de América” de la UCM, en recursos educativos digitales a los que puedan acceder tanto profesores, como estudiantes y visitantes. Para crear estos recursos educativos se ha desarrollado el concepto de objeto virtual, un concepto similar al de objeto de aprendizaje pero de carácter más genérico, lo que nos permite utilizarlo para agrupar toda la información sobre los objetos reales utilizada por los arqueólogos. Para hacer operativos los recursos educativos creados se ha construido un sitio Web provisto de un acceso hipermedia que facilita tanto la utilización como el mantenimiento de los citados recursos.

Palabras clave— Objeto virtual, objeto de aprendizaje, tecnologías Web, arqueología, hipermedia

I. INTRODUCCIÓN

El proyecto *Chasqui*, desarrollado conjuntamente por los Departamentos de *Historia de América II: Antropología de América* y de *Sistemas Informáticos y Programación* de la Universidad Complutense de Madrid, tiene como objetivo convertir en recursos educativos los materiales arqueológicos y etnográficos disponibles en el primero de los citados departamentos. Para construir estos recursos educativos se ha desarrollado el concepto de *objeto virtual*: un objeto digital que sirve para agrupar toda la información relacionada con un determinado objeto arqueológico o etnográfico. Posteriormente, y a partir de los objetos virtuales básicos, se construyen otros recursos educativos más elaborados, que se integran, junto con los objetos virtuales, en un entorno Web, que puede utilizarse tanto para la enseñanza como para la

investigación y divulgación arqueológicas.

El Departamento de Historia de América II dispone para realizar sus tareas de investigación y docencia de un museo y un laboratorio en los que se encuentran depositados más de dos mil objetos arqueológicos y etnográficos de las distintas culturas americanas, producto de diversas donaciones y resultado de los diferentes proyectos de investigación llevados a cabo por dicho Departamento. Estos objetos se encuentran en diferentes etapas de su proceso de identificación, clasificación y análisis, y se utilizan como material comparativo y de apoyo en las clases prácticas. El más abundante de los materiales arqueológicos es el cerámico, pero hay también una buena cantidad de objetos de piedra, metal y concha. Además la colección etnográfica añade objetos de madera, plumas, cuerda, cuero, o caparazones de animales. Dentro del campo de la arqueología ambiental, el laboratorio cuenta con una interesante colección malacológica comparativa (más de cien especies) de la región biogeográfica panameña y otra, más limitada, de huesos de animales de bosque tropical húmedo. Junto a esto, el Departamento de Historia de América II dispone de una gran variedad de recursos documentales (colecciones de material gráfico y colecciones de documentos: cuadernos de campo, diarios de excavación, diapositivas, croquis, perfiles, análisis, etc.). Hasta ahora, el acceso a todo este material solo podía realizarse en forma presencial y de manera muy restringida. Aunque el estudio presencial de restos arqueológicos es muy gratificante, tanto para el alumno-investigador como para cualquier persona interesada, en última instancia, y desde un punto de vista científico-docente, lo importante son los datos que se pueden extraer del objeto: su antigüedad, origen, dimensiones, material, etc. También resultan fundamentales las relaciones que el estudioso puede establecer entre los diferentes restos arqueológicos, hasta construir un modelo, o descripción objetiva, de la cultura que creó y utilizó dicho objeto. Por ello, el reto que se pretende abordar en este proyecto es el de facilitar a todos, alumnos e investigadores, el acceso a todo este material sin menoscabo de su potencial informativo.

Para facilitar el trabajo del investigador y del enseñante se ha abordado la construcción de un sistema capaz de gestionar toda la información anteriormente referida y que utiliza como concepto directriz el concepto de objeto virtual. Debido a la especificidad, y a la naturaleza de la información que puede

Alfredo Fernández-Valmayor. Dpto. Sistemas Informáticos y Programación, Universidad Complutense de Madrid, España (e-mail: valmayor@fdi.ucm.es).

Mercedes Guinea. Dpto. de Historia de América II: Antropología de América, Universidad Complutense de Madrid, España (e-mail: guinea@ghis.ucm.es)

Mariano Jiménez. Grupo de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial de la Universidad Complutense de Madrid, España (e-mail: mjimenez@lola.sip.ucm.es).

Antonio Navarro. Dpto. Sistemas Informáticos y Programación, Universidad Complutense de Madrid, España (e-mail: anavarro@sip.ucm.es).

Antonio Sarasa. Dpto. Sistemas Informáticos y Programación, Universidad Complutense de Madrid, España (e-mail: asarasa@sip.ucm.es).

estar asociada a un objeto virtual, un requisito fundamental de nuestro sistema es que los investigadores responsables puedan introducir datos en él de manera directa y continua, ya que realmente son ellos los únicos cualificados para dicha tarea. Además, hay que tener en cuenta que completar el estudio de un objeto arqueológico y establecer sus relaciones con otros objetos es un proceso laborioso y constante que nunca acaba de cerrarse por completo.

Requisitos adicionales del sistema son: que la introducción y la consulta de los datos sea lo más sencilla posible, y por supuesto que ello pueda hacerse desde cualquier computadora conectada a la red. Como la principal desventaja de una aproximación basada en un tratamiento objetivo de los datos asociados a los objetos arqueológicos es la de privar al individuo de la percepción directa de los objetos con que trabaja, el sistema también debe contar con un acceso hipermedia intuitivo y de gran riqueza gráfica.

A diferencia de otros proyectos de informática aplicada a la enseñanza, este proyecto no se centra en la definición de una metodología para la creación de unidades didácticas, o en la especificación de las posibles características de éstas: adaptabilidad al alumno, estrategias pedagógicas o representación de los conceptos básicos del dominio de referencia [1], [2]. El enfoque de este proyecto se puede considerar complementario a los proyectos anteriores, en el sentido de que en él lo que se pretende es enriquecer las bases sobre las que posteriormente se pueden asentar diversas metodologías de enseñanza. Dicho de otra forma, el objetivo de este proyecto es la creación de un entorno con los recursos educativos informatizados básicos sobre los que después sea posible construir otros recursos más complejos como pueden ser: cursos, unidades didácticas o módulos de apoyo a la docencia presencial.

La aproximación seguida en este proyecto está inspirada en el concepto de "objeto de aprendizaje" (*learning object*), promovido por iniciativas como ADL (*Advanced Distributed Learning*) [3], [4] e IEEE/LTSC (*Learning Technology Standards Committee*) [5]. ADL propone bajo el nombre de SCORM (*Sharable Content Object Reference Model*) una especificación aplicable a la construcción de objetos de aprendizaje complejos (que pueden tener la estructura de un módulo o un curso) a partir de otros más sencillos, hasta llegar a los objetos de aprendizaje más básicos (atómicos). En nuestro caso la aproximación que seguimos para desarrollar un enfoque de este tipo no es general y abstracta si no que hemos preferido fijarnos en un dominio de aplicación concreto: la enseñanza de la Arqueología, tal y como se lleva a cabo en el Departamento de Historia de América II, y utilizar este contexto como punto de partida para desarrollar experiencias de enseñanza y de uso concretas. El núcleo del sistema está constituido por una base de datos relacional en la cual la entidad fundamental es el objeto virtual. Además, y con el fin de disponer de una forma estándar de clasificación de la información y de poder establecer todas las relaciones necesarias entre objetos virtuales, cada objeto virtual se

describe mediante un modelo de meta-datos basado en la propuesta de LOM (*Learning Object Metadata*) [4], [6].

Por otro lado, para diseñar la interfaz hipermedia que proporciona acceso a los recursos educativos utilizamos nuestro propio modelo de diseño, *Pipe* [7], de esta forma contamos con una representación intermedia entre la especificación de requisitos y la propia aplicación.

En este artículo describimos cual ha sido el proceso de construcción del sistema, así como los diversos estándares educativos y el modelo hipermedia utilizados. Con este fin veremos sucesivamente un apartado sobre las tecnologías existentes, otro sobre el desarrollo de la arquitectura del sistema, y finalmente presentaremos los resultados obtenidos, así como las conclusiones y el trabajo futuro.

II. TECNOLOGÍAS EXISTENTES

Las tecnologías en que se ha basado el desarrollo de nuestro sistema son, por un lado, las relacionadas con la definición de estándares educativos para el desarrollo de sistemas de enseñanza distribuidos, y por otro, las relacionadas con la ingeniería de sistemas hipermedia.

A. Estándares educativos

La iniciativa ADL, y en particular la especificación propuesta en SCORM ha sido la principal referencia en el planteamiento de este proyecto, otras iniciativas que también nos han servido de referencia son ARIADNE [8], IEEE/LTSC [4] e IMS [6].

En SCORM se define un "modelo de agregación de contenido" (*content aggregation model*), que debe de ser pedagógicamente neutro. De esta forma, serán los sistemas de enseñanza que utilicen los recursos educativos construidos de acuerdo con este modelo, los que impondrán el estilo pedagógico deseado por sus autores. El modelo de agregación de contenido propuesto por SCORM está compuesto por tres elementos: el "modelo de contenido", los "meta-datos" y el "modelo de empaquetamiento". El modelo de contenido se compone a su vez de tres elementos: *assets* (los contenidos más básicos), SCOs (*Sharable Content Object*) conjunto de *assets* que puede ejecutarse en el entorno del sistema de enseñanza y finalmente las "estructuras de agregación" (*content aggregation*) que son las estructuras capaces de organizar diferentes recursos de aprendizaje hasta formar una unidad didáctica coherente (se podría decir que una estructura de agregación define una taxonomía para un conjunto de recursos de aprendizaje).

Como veremos los conceptos de objeto virtual y recurso educativo utilizados en nuestro sistema para organizar la información arqueológica se pueden considerar una aproximación pragmática al modelo de contenido y meta-datos propuesto por SCORM.

El desarrollo de herramientas y plataformas de enseñanza basadas en el concepto de "objeto de aprendizaje" trata de superar muchas de las dificultades de orden práctico que tradicionalmente se han venido sufriendo en el desarrollo de cursos y sistemas de enseñanza basados en el computador y

tiene un enfoque fundamentalmente pragmático motivado sin duda por el tipo de instituciones que están detrás de estas iniciativas [5], [6]. De entre las consideraciones realizadas por estas iniciativas destacamos las siguientes :

- 1) Necesidad de desarrollar materiales educativos en formatos independientes de plataforma y con la posibilidad de medir la eficiencia y utilidad de los mismos [9].
- 2) Módulos centrados en el estudiante. Estudios empíricos realizados sobre educación y nuevas tecnologías sugieren que la consecución de un aprendizaje eficaz depende de la capacidad de esas tecnologías para adaptar la instrucción a las necesidades de individuos [9], [10], [5].
- 3) Disminuir los costes y aumentar la efectividad del aprendizaje. Es un aspecto importante (aunque discutible) dentro del pragmatismo que caracteriza a estas iniciativas. Los estudios realizados tratan de poner de manifiesto que la instrucción basada en las nuevas tecnologías puede reducir significativamente el coste y el tiempo necesario para lograr un amplio rango de objetivos de instrucción. Estos estudios también revelan una mejora en las actitudes y conocimientos del estudiante, aunque dependiendo fuertemente de si la dedicación, o tiempo de estudio, se mantiene constante. La Fig. 1 muestra los resultados de los estudios empíricos realizados dentro de la iniciativa ADL [5]. En esta figura se compara la efectividad de la formación basada en las nuevas tecnologías frente a la instrucción en aula

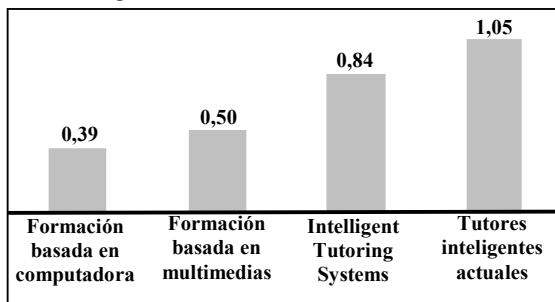


Fig. 1. Impacto de las nuevas tecnologías

Para algunos autores los objetos de aprendizaje se pueden definir como los menores elementos de naturaleza didáctica de consta un curso o lección. Algunos de los aspectos que caracterizan un *learning object* son [10]:

- 1) *Contenido*. El contenido y las actividades deben soportar un aprendizaje objetivo, y su evaluación debe de estar orientada a conseguir dicha objetividad.
- 2) *Tamaño*. Realizar las actividades implicadas por un objeto de aprendizaje no debe llevar mucho tiempo.
- 3) *Contexto y capacidades*. Un objeto de aprendizaje debe poder existir de forma independiente y debe poder ser utilizado por cualquier participante (estudiante) que tenga determinadas capacidades y en el momento que lo necesite.

- 4) *Etiquetado y almacenado*. El contenido se describe mediante un conjunto de etiquetas normalizadas (meta-datos).
- 5) *Construcción incremental*. Los objetos de aprendizaje complejos (con una estructura bien definida) se construyen utilizando otros objetos de aprendizaje previamente construidos partiendo de los objetos de aprendizaje más básicos (atómicos).
- 6) *Interdependencia*. Un objeto de aprendizaje se considera que está formado por tres componentes interdependientes: el objeto de aprendizaje en sí mismo, los meta-datos (la forma estandarizada de describir su contenido) y un componente de gestión del aprendizaje (LMS o *Learning Management System*) que almacena, localiza y entrega contenidos.

Las ventajas más importantes de esta aproximación, se pueden ver tanto desde el punto de vista del desarrollo de contenidos como desde el punto de vista de la entrega (la utilización final del material por parte de estudiantes, profesores y gestores):

- 1) *Perspectiva del desarrollo de contenido*.
 - *Modularidad* [11]. Capacidad de desarrollar entornos de enseñanza complejos utilizando objetos desarrollados en el mismo contexto de enseñanza o en contextos de enseñanza diferentes pero de acuerdo con un estándar común.
 - *Reutilización* [12]. El mismo objeto puede utilizarse en contextos diferentes. Ello supone, a nivel de la aplicación educativa, el conocimiento de los requisitos culturales y didácticos que implica el objeto y a nivel informático el conocimiento de los requisitos técnicos necesarios para integrar el objeto en diferentes plataforma. Si un material se diseña para ser utilizado en múltiples contextos, puede ser reutilizado más fácilmente que el material que tiene que ser reescrito para cada nuevo contexto. La definición de un conjunto de metadatos estándar y con suficiente capacidad expresiva es fundamental en este punto. Como veremos después, LOM permite la descripción de forma estandarizada de contenidos, requisitos y contextos de un objeto de aprendizaje.
 - *Mantenimiento, persistencia y evolución de los objetos de aprendizaje* [9]. Un objeto de aprendizaje se concibe desde el comienzo de forma similar a otras aplicaciones informáticas, con un ciclo de vida que incluye sucesivas versiones en las que se van eliminando los problemas detectados en su uso, se mejoran sus prestaciones y se adapta a otros contextos. Considerándose la posibilidad que este trabajo sea realizado por autores distintos a los autores originales (dejando a salvo los derechos de autor). En este sentido las etiquetas de los meta-datos facilitan la modificación, búsqueda y gestión del contenido, filtrando y seleccionando solo el

contenido relevante para un propósito dado.

- *Interoperabilidad* [13]. Esta aproximación permite a diferentes organizaciones establecer especificaciones para acordar el diseño, desarrollo y presentación de los objetos de aprendizaje basándose en las necesidades de las mismas, pero a la vez consiguiendo una interoperabilidad con otros sistemas de aprendizaje y con otros contextos.
- *Lenguaje de modelado educativo* [14]. Paralelamente a la utilización de objetos de aprendizaje se ha desarrollado el concepto de Lenguajes de Modelado Educativo (EML, *Educational Modelling Languages*) [15], [16]. El desarrollo de estos lenguajes utiliza las posibilidades de los lenguajes de marcado, como XML [17], para organizar la información (contenidos y didáctica) de forma independiente a la que ésta será posteriormente utilizada (y de forma independiente de plataforma). Los lenguajes de modelado educativo permiten desarrollar modelos, o plantillas, de diferentes actividades educativas, que pueden incluir exposiciones teóricas, guías de ejercicios y desarrollo de prácticas entre otras.

2) *Perspectiva de la entrega.*

- *Personalización* [10]. Se puede obtener un mayor nivel de personalización mediante la *fijación posterior (late binding)* de un plan de estudios de acuerdo con las necesidades personales. Además el contenido *online* puede enlazarse con un sistema de gestión del aprendizaje (LMS). Un LMS facilita una plataforma integrada para la gestión del aprendizaje: contenidos y entrega, es decir, facilita el acceso a un amplio rango de usuarios entre los que se incluyen desde participantes hasta creadores de contenidos y administradores.
- *Aprendizaje basado en la capacidad* [10]. El aprendizaje basado en la capacidad se refiere a las habilidades, conocimientos y actitudes que debe tener un alumno para que un contenido resulte apropiado. Ello implica que los contenidos deben de ser adaptables. El marcado de los objetos de aprendizaje con un nivel de granularidad suficientemente fino, permite una aproximación adaptativa basada en la asociación de los meta-datos del objeto con las características individuales del alumno.
- *Incremento de valor* [18]. Desde un punto de vista económico, el valor de un contenido o de un objeto de aprendizaje se incrementa cada vez que se reutiliza. Este incremento del valor económico no solo se debe al ahorro de costes que se produce al evitar tener que diseñar o desarrollar de nuevo un objeto, sino también por la venta de objetos y contenidos para ser utilizados en otros contextos.

Los problemas que pueden presentar los sistemas de enseñanza basados en la aproximación de los objetos de aprendizaje se pueden resumir fundamentalmente en que pueden favorecer un tratamiento del proceso de aprendizaje excesivamente pragmático y simplista, basado en la exposición de la información, tests y simulaciones simples (en muchos casos muy próximo a planteamientos conductistas) y que en cierto sentido puede considerarse como una regresión a los primeros (y muy criticados) enfoques de la enseñanza basada en computador [19].

El enfoque que presentamos en este trabajo está muy influenciado por el planteamiento de los objetos de aprendizaje descritos anteriormente [5], [20] pero adaptándolo a un dominio concreto y eliminando los esquemas de trabajo que imponen una simplificación excesiva del proceso de aprendizaje. Para ello se utilizan en la medida de lo posible los mismos materiales que utilizan los profesionales en el área (arqueólogos en nuestro caso). Estos objetos se ponen a disposición de los alumnos teniendo en cuenta que estos objetos no solo están destinados a ser utilizados en un entorno de enseñanza sino que también están destinados a facilitar el trabajo profesional del investigador (arqueólogo, historiador, etc.) y también a ser utilizados en otros contextos más amplios, como puede ser la divulgación cultural del trabajo de investigación (arqueológico, antropológico e histórico en nuestro caso).

Como se ha comentado anteriormente, la organización y la clasificación (indexación) de objetos de aprendizaje utilizando un modelo de metadatos estandarizado, ha sido una de las actividades que más han centrado los esfuerzos de las distintas organizaciones que participan en el esfuerzo de estandarización y de potenciación de la enseñanza basada en la Web [21]. Los trabajos realizados por IMS, IEEE/LTSC y SCORM han consolidado la propuesta de LOM como la principal referencia para clasificar los recursos educativos digitales y hacerlos disponibles a la comunidad de usuarios de la Web. Así, el enfoque estructurado de la definición de meta-información (modelo de meta-datos de LOM) implica que los descriptores que forman de manera conjunta una descripción convencional y estandarizada de un recurso educativo, se agrupen en categorías significativas. El esquema básico está formado por nueve categorías [6]:

- 1) *General*. Agrupa todas las características independientes del contexto además de los descriptores semánticos del recurso.
- 2) *Ciclo de vida*. Agrupa las características ligadas al ciclo de vida del recurso.
- 3) *Meta-metainformación*. Agrupa los aspectos de la propia descripción (en lugar de aquellos referidos al recurso que se describe).
- 4) *Técnica*. Agrupa los aspectos técnicos del recurso.
- 5) *Uso educativo*. Agrupa los aspectos educativos o pedagógicos del recurso.
- 6) *Derechos*. Agrupa los aspectos que tratan o tienen que ver con las condiciones de uso del recurso.

- 7) *Relación*. Agrupa aspectos del recurso que lo ligan a otros recursos.
- 8) *Observaciones*. Permite comentarios sobre el uso educativo del recurso.
- 9) *Clasificación*. Agrupa las características del recurso según lo describen las entradas de diferentes catálogos.

Por otro lado, existen diferentes grupos como *Dublin Core* [22] y *ARIADNE* que han mapeado sus esquemas de meta-datos a LOM, pero con un nivel de detalle menos exhaustivo.

La dificultad de utilizar el modelo de meta-datos propuesto por LOM en nuestro contexto es que el investigador (el arqueólogo en nuestro caso) no utiliza como objetos primarios en su trabajo los objetos digitales (*Learning Objects*) que LOM pretende clasificar de forma tan exhaustiva, sino que utiliza los objetos propios de su área de trabajo, es decir, utiliza los artefactos arqueológicos recuperados en las excavaciones, como pueden ser: puntas de flecha, vasijas cerámicas, objetos de adorno, instrumentos musicales, etc. Además, el arqueólogo también utiliza otros objetos más conceptuales como pueden ser los pozos o las estructuras excavadas, los cuadernos de campo, croquis e informes del proceso de excavación, resultados de los análisis del material, etc.

Esta situación es la que nos ha llevado a plantearnos la introducción del concepto de objeto virtual, que básicamente es el objeto informatizado que representa el objeto real con el que trabaja el profesional del área, y que puede estar compuesto a su vez de otros objetos virtuales. Inicialmente los objetos virtuales que nosotros definimos no son equiparables a los objetos de aprendizaje sino que pertenecen una concepción más amplia. Sin embargo, estos objetos virtuales descritos mediante LOM sirven de base para la construcción de verdaderos objetos de aprendizaje (como por ejemplo módulos de prácticas o de exposición teórica) que tendrán como base los materiales con los que trabaja el investigador.

Este concepto de objeto virtual presenta una serie de ventajas en el desarrollo de entornos de enseñanza basados en la Web que en la actualidad estamos explorando mediante la construcción de una serie de prototipos que en principio nos han permitido tratar de forma homogénea los que podríamos considerar recursos puramente educativos (objetos virtuales) y los recursos más profesionales utilizados por el arqueólogo, creandose interacciones (sinérgias) entre la actividad docente e investigadora que en los primeros resultados resultan muy satisfactorios.

B. Ingeniería hipermedia

Como el acceso a los datos se realizará a través de una interfaz hipermedia optamos por utilizar un sistema de representación hipermedia para caracterizar el diseño de este componente del sistema. Aunque en principio la existencia de una base de datos nos llevó a considerar el uso de modelos como RMDM [23], o aproximaciones como WebML [24] en último término desechamos esta opción. La razón es bien sencilla. La filosofía de uso de estos sistemas se basa en la

existencia de las relaciones entre las diferentes entidades del modelo como base de los hiperenlaces. El problema radica en que las relaciones de nuestra base de datos soportan las conexiones existentes entre los diferentes componentes de objetos virtuales, sin ningún valor desde el punto de vista hipermedia. Por tanto buscamos otras alternativas. Sistemas como OOHDM o Labyrinth [24] eran demasiado potentes para nuestras necesidades, y ese exceso de prestaciones nos planteaba situaciones no deseables (e.g: la falta de una semántica de navegación por defecto). Por otro lado el resto de los sistemas estudiados [25] eran demasiado sencillos para nuestros propósitos (e.g.: interfaces de usuario muy básicas). Por tanto optamos por utilizar nuestro sistema de representación hipermedia, Pipe, al parecer nos la opción más equilibrada y cercana.

El modelo Pipe [7], [25] se basa en la separación de los contenidos y relaciones navegacionales (*grafo de contenidos*) de la interfaz de usuario e interpretación de las relaciones que se les va a proporcionar (*esquema navegacional*). Ambos aspectos, así como las relaciones existentes entre los dos, están soportados por una notación visual. Además el modelo Pipe cuenta con una representación en formato XML. Las caracterizaciones de aplicaciones hipermedia en este formato son interpretadas por una aplicación Java (*GAP*) que se encarga de la generación rápida de prototipos. En el siguiente apartado veremos un ejemplo de aplicación de nuestro modelo.

III. DESARROLLO DEL SISTEMA

A. Desarrollo Web

Un requisito importante de nuestro sistema es que los investigadores puedan actualizar de forma continua y desde cualquier lugar que disponga de una computadora con acceso a la red, la información que se agrupa en torno a los objetos virtuales. Desde el punto de vista de los alumnos (o de cualquier otro tipo de usuario) también es importante la posibilidad de acceder a la información sobre estos objetos virtuales (sea o no con intención didáctica) desde cualquier punto con conexión a la red. La solución actual a este tipo de requisitos pasa por utilizar un entorno Web: una arquitectura cliente-servidor basada en un navegador estándar y servidores *HTTP* (*HyperText Transfer Protocol*). En este tipo de arquitecturas hay dos partes bien diferenciadas. Por un lado tenemos los procesos realizados en el lado del cliente: un navegador estándar que interpreta un documento e interacciona con el usuario utilizando HTML y JavaScript. Por otro los procesos realizados en el servidor donde se gestionan y procesan los datos mostrados al usuario utilizando diferentes lenguajes y/o sistemas de gestión de bases de datos como pueden ser, en nuestro caso, PHP [26] y MySQL [27].

En el desarrollo de los primeros prototipos de nuestro sistema vimos que mezclar en el mismo documento el código que tenía que ejecutarse en el cliente, y el código que tenía que ejecutarse en el servidor causaba diversos problemas de gestión y mantenimiento entre los cuales podemos destacar:

- Fuerte acoplamiento entre HTML y PHP. Al incorporar algo más que una simple descripción del interfaz dentro de las páginas, (p. e. obtener o modificar información sobre los objetos virtuales, gestionar los permisos de los usuarios), el código se complicaba demasiado.
- Dificultades en el desarrollo y depuración del código. En general, dentro de cada página puede aparecer código que se ejecuta en el servidor y código que se ejecuta en el cliente. Esto puede llevarnos a confundir uno con otro y hace difícil seguir el flujo de la aplicación, por lo que se complica la depuración (los errores que tenemos dentro de una página se pueden deber a fallos en el código HTML, en el código JavaScript o en el código PHP, que además tienen una sintaxis parecida).
- Dificultad para modificar incrementalmente el modelo de datos. Los cambios en el modelo de datos (p. e. en la definición de los objetos virtuales), originaban cambios en casi toda la aplicación.

Para resolver estos problemas decidimos utilizar una arquitectura basada en el modelo MVC (*Model-View-Controller*) [28]. Este modelo divide los módulos de la aplicación en tres categorías o capas:

- *Modelo*. Contiene la funcionalidad y el estado de la aplicación. En él se define la estructura de los datos relevantes al dominio y se definen las funciones que procesan esos datos. En esta parte se integra el acceso, recuperación y modificación de la información relativa a los objetos virtuales, así como a la meta-información asociada a cada objeto; de esta forma se logra un máximo de independencia entre el modelo y el resto de la aplicación.
- *Vista*. Proporciona el interfaz del modelo y los mecanismos de interacción con el usuario; la vista puede acceder al estado del modelo, pero no puede modificarlo; hay que “avisar” a la vista cuando se produzca algún cambio en el modelo. En la vista están los módulos que se procesan en el lado del cliente: HTML, Applets y JavaScript
- *Controlador*. El controlador establece la conexión entre los elementos del interfaz y los datos que estos representan. El controlador implementa el flujo de la aplicación, se ejecuta en el servidor y depende de la situación actual del modelo, así como de las acciones realizadas por el usuario sobre la vista.

Para poder usar este modelo en un entorno Web, se tienen que hacer algunas modificaciones. La razón fundamental es que en un servidor HTTP no se pueden notificar los cambios en el modelo a la vista para que ésta se actualice, ya que es el navegador quien debe hacer una nueva petición al servidor (e.g. petición de recarga de la página), para comprobar si ha cambiado el estado del modelo. También hay que tener en cuenta que en general la vista usa distintas tecnologías (HTML/JavaScript) que el modelo-controlador (en nuestro

caso PHP).

Esto lleva a la definición de un modelo MVC específico para la red conocido como modelo MVC 2 [29], que tiene la estructura descrita en la Fig. 2. En este esquema cuando el usuario realiza una acción sobre el interfaz en la parte del cliente (navegador Web) que origina una nueva petición al servidor, ésta es procesada por el controlador. El controlador, en función de la petición que le llega, puede realizar alguna modificación sobre el modelo de datos, y redireccionar a la página adecuada; desde esta página se puede realizar alguna consulta sobre el estado del modelo de datos para completar la respuesta, y el resultado se envía al cliente; de esta forma se cierra el ciclo de operación.

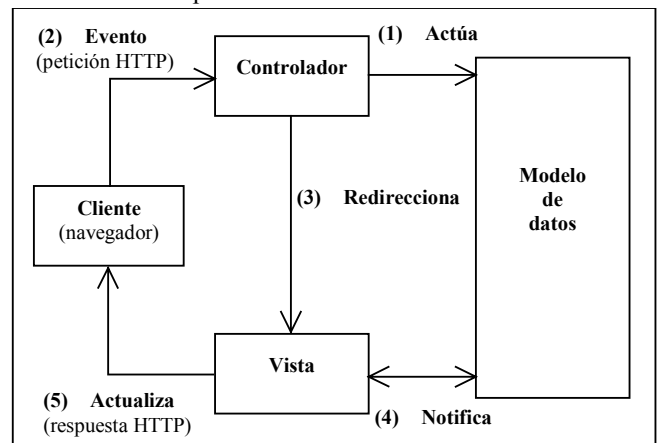


Fig. 2. Modelo-Vista-Controlador 2

Finalmente, la Fig. 3 muestra una pantalla de nuestra aplicación correspondiente al área de gestión de los objetos virtuales.



Fig 3. Captura de la aplicación

B. Diseño hipermedia

El modelo Pipe (al igual que otros modelos que comparten las ideas del modelo Dexter) parte de una separación de los contenidos y enlaces, y entre éstos y el interfaz gráfico. A nivel de contenidos tenemos un texto de *introducción* que da acceso a los contenidos de la aplicación. Estos contenidos son un *laboratorio*, un *museo*, y un área dedicada a la gestión del sistema. Los contenidos del *laboratorio* y *museo* a su vez enlazan con diversas descripciones que se extraen dinámicamente de la base de datos del sistema. Además estos

contenidos enlazan con descripciones de tres proyectos: *Esmeraldas*, *Incapirca* y *Chincheru*. La estructura de los contenidos es similar. Todos tienen una descripción de los proyectos que permite extraer diversa información dinámicamente de la base de datos. La Fig. 4 muestra el grafo de contenidos de la aplicación. Nótese que en la aplicación también habrá otros contenidos que aparecerán en las diversas pantallas, pero que no son origen o destino de ningún enlace entre contenidos. Por esta razón hemos decidido obviarlos en la Fig. 4.

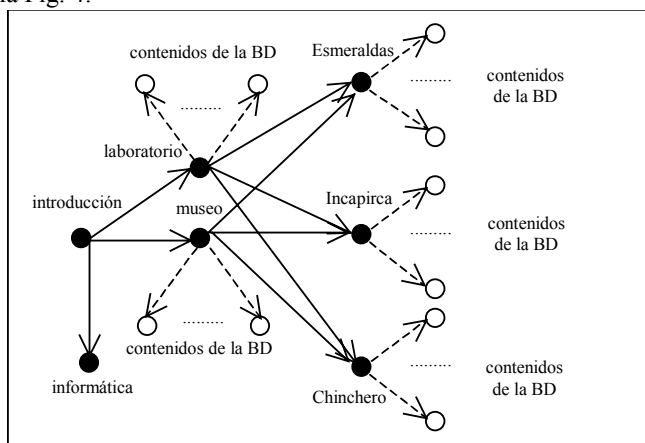


Fig. 4. Grafo de contenidos de la aplicación. Los círculos rellenos representan contenidos estáticos, mientras que los vacíos representan contenidos dinámicos. Los arcos continuos representan enlaces estáticos, mientras que los discontinuos representan enlaces dinámicos.

La interfaz gráfica va a estar formada por varias pantallas correspondientes a cada una de las partes en las que hemos dividido los recursos (recursos, laboratorio, museo, gestión de la aplicación y los tres proyectos). Salvo el área dedicada a la gestión de la aplicación, el resto de pantallas son muy similares. Estas incluyen un panel donde mostrar el texto principal y otro donde mostrar los contenidos extraídos de la base de datos. Además incluyen otros paneles para mostrar información no enlazada a nivel contenidos. Así la Fig. 5 muestra el diseño de la pantalla correspondiente al *Proyecto Esmeralda*, así como su relación con el grafo de contenidos.

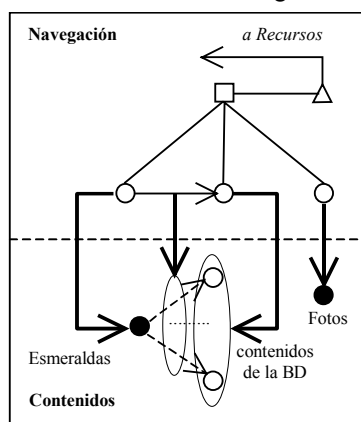


Fig. 5. Esquema navegacional y su relación con el grafo de contenidos. Las líneas en negrita muestran la asignación de contenidos y enlaces de contenidos a los elementos del esquema navegacional

El modelo Pipe tiene una aplicación Java asociada, *GAP*, que en base a una codificación XML del esquema navegacional y una representación de los contenidos en formato XML permite la generación rápida de prototipos. La Fig. 6 (a) muestra el esquema navegacional XML equivalente a la Fig. 5, y la Fig. 6 (b) muestra el prototipo generado.



Fig. 6. (a) Codificación XML del esquema navegacional. (b) Prototipo generado. La extracción de los contenidos de la base de datos por el momento se realiza de *forma manual*.

IV. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Es evidente que las nuevas tecnologías representan un importante avance a la hora de ampliar las capacidades pedagógicas en los entornos de aprendizaje. En esta ocasión hemos desarrollado un sistema capaz de mostrar a una gran audiencia un considerable número de recursos arqueológicos, disponibles hasta el momento para un reducido número de personas.

En el desarrollo de este sistema hemos utilizado numerosos conceptos provenientes de lo que se ha venido en llamar *e-learning*, pero flexibilizando su aplicación en aras de un mayor pragmatismo. El resultado final ha sido el objeto virtual, influenciado por los estándares actuales, pero modificado a nuestra conveniencia. Este objeto virtual ha servido de base a una arquitectura adecuada para un prototipado y desarrollo rápidos y que cumple bien con los requisitos inicialmente planteados por los arqueólogos, y todo ello sin estar totalmente aislado del cambio de orientación que están sufriendo en la actualidad las tecnologías educativas actuales. Por el contrario su mayor inconveniente, es precisamente el no estar desarrollado totalmente según estos estándares.

Por otro lado, la componente hipermedia que estamos desarrollando se ve beneficiada por un diseño bien definido y apoyado por técnicas de prototipado rápido que a la postre resultan extremadamente valiosas para el desarrollo de una aplicación hipermedia.

Como trabajo futuro queda la adaptación de los objetos virtuales para que cumplan en su totalidad con los estándares educativos, así como la finalización de la interfaz hipermedia, actualmente en desarrollo. También estamos trabajando en la integración de la tecnología relacional con el modelo Pipe y con el mecanismo automático de generación de prototipos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Comité Español de Ciencia y Tecnología (TIC2000-0737-C03-01y TIC2001-1462) y por la Universidad Complutense de Madrid (PIE 2001/28).

REFERENCIAS

- [1] R. Carro, E. Pulido, P. Rodríguez, "Dynamic Generation of Adaptive Internet-Based Courses". Journal of Network and Computer Applications. Academic Press. <http://www.idealibrary.com> .Vol. 22. Noviembre 1.999, pp.249-257
- [2] Rodríguez-Artacho, M., Verdejo, F., Mayorga, J.I., and Calero, Y. "Using a high-level language to describe and create web-based learning scenarios". In Proceedings of the IEEE Frontiers in Education Conference (FIE99), San Juan, Puerto Rico. IEE Society. 1999.
- [3] J.D. Fletcher, Philip Dodds, "All About ADL", Learning Circuits. <http://www.learningcircuits.org/>
- [4] Advanced Distributed Learning Initiative. Sharable Courseware Object Reference Model (SCORM). <http://www.adlnet.org/>
- [5] IEEE Learning Technology Standards Committee (IEEE LTSC) Learning Object Metadata (LOM). <http://ltsc.ieee.org/wg12/>
- [6] IMS Global Learning Consortium. <http://www.imsproject.org/SpecAction.cfm>
- [7] A. Navarro, B. Fernández, A. Fernández-Valmayor., J.L. Sierra, "Formal-Driven Conceptualization and Prototyping of Hypermedia Applications". FASE 2002, que forma parte de ETAPS 2002, pp. 308-322. Grenoble, 6-14 abril, 2002. LNCS (Vol. 2306), Springer-Verlag, Berlin, 2002.
- [8] Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe. <http://ariadne.unil.ch/>
- [9] S. Downes, "Learning Objects". http://www.atl.ualberta.ca/downes/naWeb/Learning_Objects.doc
- [10] L. Mortimer, "(Learning) Objects of Desire: Promise and Practicality". Learning Circuits. <http://www.learningcircuits.org/>
- [11] T. Barron, "Learning Object Pioneers". Learning Circuits. <http://www.learningcircuits.org/>
- [12] D. A. Wiley, "Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy". <http://www.reusability.org/read>
- [13] H. Singh, "Achieving Interoperability in e-Learning". Learning Circuits. <http://www.learningcircuits.org/>
- [14] R. Koper, Educational Modelling Language: adding instructional Design ton existing specifications". http://www.rz.uni-frankfurt.de/neue_medien/
- [15] PALO Educational Modelling Language. <http://sensei.lsi.uned.es/palo/>
- [16] Educational Modelling Language. <http://eml.ou.nl/>
- [17] World Wide Web Consortium. Extensible Markup Language XML). <http://www.w3.org/XML/>
- [18] W. Longmire, "A Primer on Learning Objects". Learning Circuits. <http://www.learningcircuits.org/>
- [19] Wenger, E. Artificial Intelligence and tutoring systems. Morgan Kaufmann Publishers, Los Altos, 1987.
- [20] Sun Microsystems-Education and Research White Papers. "E-learning Application Infrastructure". <http://www.sun.com/products-n-solutions/edu/elearning/>
- [21] Sun Microsystems-Education and Research White Papers. "E-learning Interoperability Standards". <http://www.sun.com/products-n-solutions/edu/elearning/c>
- [22] Dublin Core Metadata Initiative. : <http://dublincore.org/>
- [23] T. Isakowitz, E.A. Stohr, P. Balasubramanian, "RMM: a methodology of structured hypermedia design". Communications of the ACM 38 (8), 34-43, 1995.
- [24] S. Ceri, P. Fraternali, A. Bongio, "Web Modeling Language (WebML): a modeling language for designing Web sites". Actas de 9th International World Wide Web Conference. Amsterdam, 15-19 Mayo, 2000.
- [25] A. Navarro, "Conceptualización, prototipado y proceso de aplicaciones hipermedia". Tesis Doctoral. Dpto. de Sistemas Informáticos y Programación. Universidad Complutense de Madrid. 2002.
- [26] PHP. <http://www.php.net/>
- [27] MySQL. <http://www.mysql.com/>
- [28] F. Buschmann, R. Meunier, H. Rohnert, P. Sommerlad, M. Stal, "A system of Patterns". West Sussex, Inglaterra. Wiley. 1996.
- [29] G. Seshadri, "Understanding JavaServer Pages Model 2 Architecture. Exploring the MVC design pattern". <http://www.javaworld.com/javaworld/jw-12-1999/>