

Un Modelo de Distribución de Repositorios para un Portal de Comunidades de Aprendizaje Colaborativo¹

Carlos Celorrio, M. Felisa Verdejo, Beatriz Barros

Dept. de Lenguajes y Sistemas Informáticos
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática
Universidad Nacional de Educación a Distancia
28040 Madrid

ccelorrio@bec.uned.es, felisa@lsi.uned.es, bbarros@lsi.uned.es

Resumen: La distribución de contenidos y/o metadatos en Repositorios de Objetos de Aprendizaje es un aspecto clave a la hora de favorecer el intercambio de conocimiento dentro de comunidades de aprendizaje. En este artículo se presenta una solución basada en servicios web para ofrecer esta distribución. Partiendo del análisis de las necesidades de una comunidad para compartir recursos generados en distintos escenarios temáticos científico-técnicos, se propone una solución que cumple sus requisitos pedagógicos. Se discuten las distintas opciones tecnológicas disponibles y se presenta el diseño realizado, que se caracteriza además por ofrecer interoperabilidad y flexibilidad para adaptar la configuración a diferentes situaciones.

Palabras clave: Repositorios de objetos de aprendizaje, distribución, servicios web.

Abstract: Content and/or metadata distribution is a key factor in order to foster knowledge sharing in virtual learning communities. This article presents a solution based on web services for providing this kind of distribution. Starting from the pedagogical requirements of a community that needs to share resources generated in different scientific/technical thematic scenarios, a solution is proposed to fit these requirements. Several technological options are presented as well as the chosen design, that merges interoperability and flexibility for adapting to different configurations.

Key words: Learning object repositories, distribution, web services.

1. Introducción

Los Repositorios de Objetos de Aprendizaje ofrecen a estudiantes y profesores una memoria estructurada y organizada que facilita la búsqueda y uso de “artefectos” de aprendizaje, sea cual sea su fuente de proveniencia. Sin embargo también pueden verse como una forma de compartir conocimiento entre comunidades virtuales. Los productos creados en las actividades educativas se encuentran disponibles en el repositorio para los miembros de la comunidad y sobre esta base pueden diseñarse escenarios

pedagógicos que promuevan la reutilización de dichos resultados.

Uno de los principios del proyecto COLDEX [COLDEX 01] es favorecer este tipo de compartición y de reusabilidad en comunidades de aprendizaje que trabajan en escenarios con actividades de planteamiento colaborativo. Con este propósito, cada comunidad dentro del proyecto trabaja usando un *Portal Semántico* que permite la colaboración entre grupos mediante un *Repositorio de Objetos de Aprendizaje*. Este repositorio permite

¹ Artículo seleccionado de SINTICE, VI Congreso Nacional de Informática Educativa (Granada 2005), extendido y revisado para su publicación en IE Comunicaciones.

almacenar los productos de las actividades como objetos de aprendizaje, y da facilidades para que se puedan compartir y distribuir entre el resto de comunidades.

En este artículo no se entrará en la definición de *Objeto de Aprendizaje*, tema ampliamente tratado en la bibliografía [Wiley 01], sino que nos centraremos en el problema de elegir una arquitectura que permita la distribución de éstos con el fin de dar servicio a comunidades de aprendizaje, teniendo en cuenta los principios pedagógicos que se pretenden fomentar y las alternativas técnicas disponibles en el estado actual de la tecnología.

A continuación, en la sección 2 se ofrece una mirada más detallada del proyecto COLDEX para establecer cuáles son sus necesidades de distribución, en base al escenario pedagógico que se desea fomentar. En la sección 3 se discute sobre la distribución de Objetos de Aprendizaje en distintas arquitecturas y sistemas de redes de repositorios existentes, como base para valorar, en la sección 4, las diferentes opciones técnicas disponibles. En la sección 5, se detalla la solución implementada, basada en servicios web. Finalmente, en la sección 6, se presentan las conclusiones.

2. El Proyecto COLDEX

2.1. Planteamiento y objetivos

El proyecto COLDEX [COLDEX 01] (*Collaborative Learning and Distributed Experimentation*) es un

proyecto europeo que pretende buscar y favorecer la compartición y reusabilidad del conocimiento entre comunidades de aprendizaje que trabajan en escenarios de temática científico-técnica desarrollando actividades de carácter experimental con un planteamiento colaborativo.

Los diferentes escenarios de aprendizaje colaborativo de COLDEX [Milrad et al. 04b] se llevan a cabo en diversos contextos educativos, que van desde museos de ciencias hasta colegios y universidades. Cada uno de ellos consiste en un conjunto de actividades experimentales contextualizadas en dominios científicos concretos, como la astronomía, sismología, química o la biodiversidad. Los escenarios pueden incluir distintos tipos y tamaños de grupos de aprendizaje.

En la Tabla 1 se pueden apreciar las distintas estrategias para la construcción del conocimiento y los mecanismos de colaboración aplicados en función de las características y tamaño de estos grupos de aprendizaje. Con el propósito de dar soporte a la construcción de conocimiento en los niveles de grupos pequeños y grandes, se han diseñado en COLDEX una serie de recursos que se integran en los distintos escenarios remotos [Sánchez et al. 04] y locales [Otero et al. 04]. Estos recursos pueden ser herramientas informáticas como aplicaciones de modelado, simulación, de captura de datos desde diversos dispositivos remotos, etc.

Por otro lado, con el fin de dar soporte al nivel de comunidad, y también permitir mecanismos de

	Individual	Grupo pequeño	Grupo Grande	Comunidad
Características	<ul style="list-style-type: none"> ■ Deberes ■ Estudios individuales 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Grupo de trabajo ■ Grupo de visita a museo 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Clase 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Red tras-continental de estudiantes e instituciones
Estrategias de construcción de conocimiento	<ul style="list-style-type: none"> ■ Resolución individual de problemas ■ Leer ■ Repasar 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Resolución de problemas en grupo ■ Pequeñas discusiones y reuniones 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Agregación-comparación de los resultados individuales y de los pequeños grupos ■ Discusiones ■ Exposiciones del profesor 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Recuperación de objetos de aprendizaje de otros usuarios
Mecanismos de colaboración	<ul style="list-style-type: none"> ■ No 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Áreas de trabajo compartido ■ Repositorio de grupo 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Compartición de resultados en pizarra ■ Repositorio de clase 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Intercambio indirecto de objetos de aprendizaje a través del repositorio

Tabla 1. Tipos de grupos de aprendizaje en COLDEX

colaboración entre todos los niveles, se ha diseñado y desarrollado un Portal Semántico [Verdejo et al. 04] que ofrece, como servicio nuclear, un Repositorio de Objetos de Aprendizaje. El repositorio almacena los productos de las actividades de los alumnos como objetos de aprendizaje, metadocumentados en gran parte de forma automática gracias a los mecanismos del sistema, y ofrece funcionalidades para compartir e intercambiar objetos de aprendizaje en el contexto de los escenarios de aprendizaje, permitiendo a los estudiantes buscar objetos similares en función de sus intereses, usarlos, y almacenar nuevas versiones que a su vez estén disponibles para otros usuarios.

La comunidad COLDEX está constituida por un conjunto de subcomunidades repartidas en diferentes países formando una red internacional. Existen servidores localizados en distintos puntos geográficos, cada uno con su propio repositorio. Los usuarios trabajan en grupos, generando y compartiendo objetos que deben estar disponibles para aquellas subcomunidades que se interesen por escenarios experimentales similares. Debido a esto, es necesaria una arquitectura distribuida que comunique los distintos repositorios y que favorezca el acceso distribuido a los objetos de aprendizaje generados por los diferentes grupos.

2.2 El Portal Semántico de COLDEX y su Repositorio

El Portal Semántico de COLDEX es una herramienta para comunidades virtuales de aprendizaje que aporta mecanismos para que éstas compartan los conocimientos generados en las actividades de aprendizaje, además de ofrecer funcionalidades para soportar la navegación social basada en objetos temáticos [Hoppe et al. 05]. Posee un módulo social flexible y configurable que permite a los diseñadores instruccionales crear una estructura de comunidad personalizada y adaptada a sus necesidades basándose en un planteamiento de meta-modelado [Vélez et al. 05].

Cada unidad social, entendida ésta como un individuo, un grupo, una comunidad o toda la sociedad, posee un área de trabajo que es compartida por todos sus miembros y que ofrece distintos servicios. Estos servicios pueden ser chats, foros, cabinas de votación, etc., pero el más relevante es el Repositorio.

La Figura 1 muestra el área de trabajo de un grupo dentro del portal. A la izquierda se presenta información sobre el usuario y sus grupos de trabajo, y a la derecha sobre el proyecto y actividad actuales. En el centro, y señalados en la figura, se encuentran los servicios disponibles en el área de trabajo. En concreto, este grupo posee un repositorio asociado, una lista de noticias, un foro y un chat para sus miembros y una herramienta de votación.



Figura 1. Área de trabajo de un grupo

El Repositorio puede verse como el servicio más importante de los existentes ya que va a ser el medio principal de compartición para las comunidades virtuales. Éstas trabajarán generando productos durante el desarrollo de las actividades, que son almacenados como objetos de aprendizaje, y que posteriormente pueden ser recuperados y reutilizados mediante búsquedas. El Repositorio está dividido de forma lógica en muchas vistas que ofrecen acceso a ciertos subconjuntos de objetos que se encuentran en éste. Las llamadas vistas de repositorio van a ser el mecanismo mediante el cual se va a favorecer la colaboración entre los distintos niveles sociales. Para ilustrar esto, tómesese la trayectoria seguida e ilustrada en la Figura 2, de los diferentes niveles de colaboración a lo largo del tiempo en el escenario siguiente:

“Una clase de instituto ha visitado el museo de ciencias de su ciudad. Los alumnos han asistido a una exposición sobre los planetas del sistema solar y la luna, y han mostrado considerable interés. Una vez regresan al aula, el profesor de físicas aprovecha la experiencia para hacer una actividad sobre la colisión de meteoritos contra la luna, usando para

ello la herramienta informática Cool Modes [Pinkwart 03]. Como punto de partida, el profesor explica la ecuación básica que determina el tamaño del cráter producido por el impacto del meteorito ①. La primera tarea que pide a los alumnos es buscar fotos de la luna que usarán para sus modelos. Para ello encuentran mediante el repositorio unas fotos reales capturadas previamente por alumnos de otra subcomunidad mediante un telescopio remoto ②, y que son accesibles debido a la distribución que posee el sistema COLDEX. Finalmente el profesor deja el modelado como deberes.

Nacho es un alumno de esta clase. Cuando llega a casa, busca información relevante en la web. Encuentra alguna simulación gráfica, pero no consigue extrapolar los modelos subyacentes. Intenta diseñar el modelo en Cool Modes, pero no llega demasiado lejos y guarda sus resultados parciales en su repositorio privado ③.

En la siguiente clase de física, el profesor ve que sólo un tercio de la clase ha logrado completar la tarea. Por ello forma grupos de trabajo y deja a los alumnos compartir sus resultados usando las funcionalidades que aporta el área de trabajo del repositorio ④. En la segunda mitad de la clase, el profesor transfiere dos soluciones diferentes a la pizarra interactiva del aula, las comenta y las anota ⑤. Basándose en la segunda solución, la clase discute sobre refinamientos en el modelo del impacto del meteorito que puedan definir con mayor exactitud la energía de la colisión. Finalmente, el profesor pide a los grupos que almacenen sus resultados en la vista de repositorio perteneciente a la comunidad ⑥, para que estén disponibles para futuros grupos gracias a las funcionalidades de distribución de repositorios.”

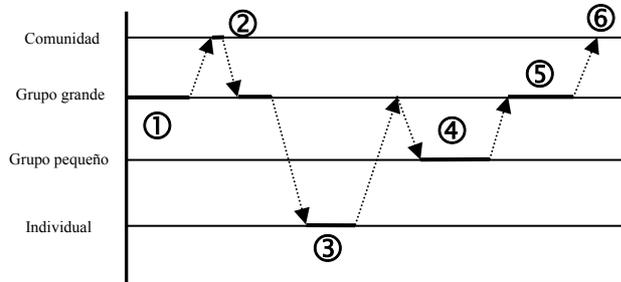


Figura 2. Niveles de colaboración a través del tiempo

A pesar de que este ejemplo no desarrolle una actividad de aprendizaje a nivel de comunidad, lo cierto es que usan y producen objetos de aprendizaje

con diferentes herramientas, que son exportados a la vista de repositorio de la comunidad. Las áreas de trabajo del portal de COLDEX poseen distintas vistas de repositorio, las cuales corresponden a distintos niveles sociales. Éstas van desde una vista de repositorio privada de usuario, hasta la vista pública correspondiente a toda la sociedad, pasando por las de comunidad y grupo. En la Figura 3 puede apreciarse la vista del repositorio de un grupo dentro del portal. A la derecha de la figura hay enlaces hacia las distintas vistas del repositorio accesibles desde el área de trabajo actual ①.

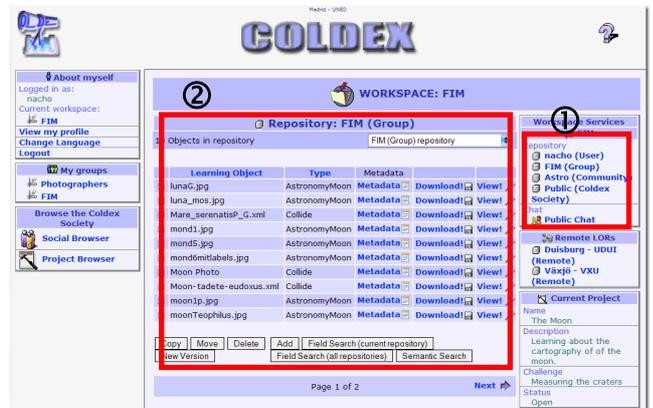


Figura 3. Vista del repositorio

En el centro de la Figura 3 se encuentra el listado de los objetos de aprendizaje guardados en la vista de repositorio actual ②, ofreciéndose opciones para poder ver los metadatos de cada objeto, ver el objeto en sí o descargárselo. Se permiten opciones para copiar, mover y crear nuevas versiones a través de las distintas vistas sociales, además de otras para borrar o buscar los objetos. Las búsquedas se pueden realizar basándose en los campos de los metadatos o mediante búsquedas semánticas de similitud, con el apoyo de una ontología [Mayorga et al. 05].

Es preciso que todas estas funcionalidades del repositorio estén disponibles a la hora de establecer la futura red distribuida de repositorios y que operen con todos los objetos almacenados en toda la arquitectura COLDEX de forma coherente.

De cara a las herramientas y aplicaciones externas, el repositorio ofrece facilidades para que puedan interoperar con él [Verdejo et al. 04d]. Estas herramientas pueden acceder a las funcionalidades principales del repositorio, como realizar búsquedas basadas en plantillas de metadatos, almacenar

objetos, recuperarlos, etc., usando *servicios web*. Esta aproximación tecnológica será tenida en cuenta también a la hora de diseñar la distribución de los objetos de aprendizaje.

Los objetos de aprendizaje en COLDEX llevan asociados un *tipo* que determina el esquema de metadatos que poseen. Todos los *esquemas de metadatos* en COLDEX [Verdejo et al. 04b] tienen una parte general, que cuenta con un conjunto representativo de campos de metadatos comunes a todos los objetos de aprendizaje. Este conjunto general se ha extraído a partir del estándar LOM, tomando aquellos campos que son relevantes para la comunidad COLDEX. Los esquemas de metadatos pueden también tener una parte específica con metadatos que sólo poseen los objetos pertenecientes a ese tipo. Por ejemplo, en la Figura 4 se muestran los metadatos de un objeto de tipo “Collide” que ha sido creado con la herramienta Cool Modes. Este tipo de objeto posee la parte de metadatos General ①, que contiene campos como descripción, palabras clave, lenguaje, etc., y una parte específica, propia sólo de los objetos Collide ②, que contiene por ejemplo información acerca de las distintas paletas o plugins de Cool Modes que se han empleado para crear el objeto.

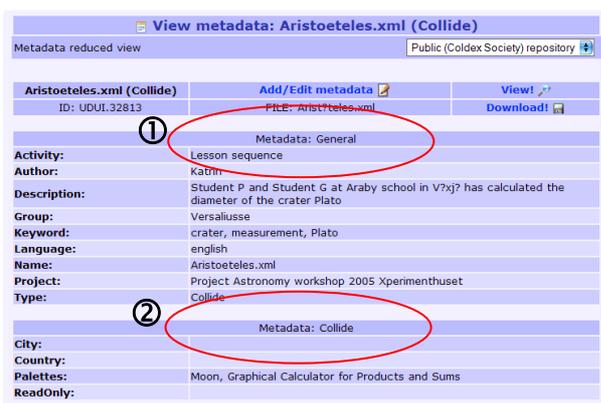


Figura 4. Metadatos de un objeto de aprendizaje

El sistema permite crear a través del portal nuevos tipos de objetos y nuevos esquemas de metadatos específicos. Esto aporta una gran potencia a la hora de diseñar nuevos objetos de aprendizaje que puedan ser almacenados en el repositorio, brindando la posibilidad de asociarles información que luego se

empleará para poder realizar búsquedas más específicas sobre ellos [Mayorga et al. 05b].

Para ayudar con el problema que supone el metadocumentar objetos a la hora de añadirlos al repositorio, éste ofrece facilidades de relleno automático de metadatos en función del contexto social (grupo, comunidad...), el contexto de escenario (proyecto, actividad...), el contexto de la herramienta (metadatos aportados por la herramienta de creación) y el contexto del objeto en sí (metadatos extraídos del contenido como formato, fecha de creación, etc...), entre otros.

2.3. El escenario distribuido de COLDEX

Con el fin de diseñar y desarrollar un modelo distribuido, podemos empezar estableciendo una serie de preguntas generales que nos ayuden a guiarnos hacia la solución buscada:

- ¿cuáles son los requisitos que deben tener los repositorios que participen en el sistema?
- ¿qué políticas de distribución debe soportar el escenario?
- ¿qué grado de interoperabilidad debe de aportar el modelo de distribución?
- ¿cuáles son las restricciones mínimas que debe soportar la arquitectura del sistema y su diseño?
- ¿qué tecnologías relevantes se deben tener en cuenta para el desarrollo de la arquitectura?
- ¿cómo conectar estas tecnologías junto con los requisitos pedagógicos para lograr un entorno consistente dentro del escenario distribuido?
- ¿cómo utilizar estas tecnologías para crear un entorno adecuado y adaptado a los usuarios?

Por razones de seguridad y autonomía, cada comunidad de aprendizaje en COLDEX puede tener su propio servidor con su Portal y Repositorio. Dado que toda la comunidad COLDEX se encontrará repartida a lo largo de diferentes servidores administrados por los distintos socios integrantes del proyecto, los alumnos han de poder trabajar en los escenarios temáticos y generar objetos que más tarde podrán reutilizar alumnos de otros escenarios situados en cualquier servidor de la red. Para lograr esto, es necesaria una solución de distribución que

proporcione cohesión de contenidos entre los diferentes repositorios de COLDEX y que tenga presente en todo momento los requerimientos de aprendizaje propios de COLDEX.

Estos requerimientos [Milrad et al. 04] atañen a los aspectos pedagógicos que se desean fomentar para conseguir la experimentación distribuida y el aprendizaje colaborativo que pretende este proyecto y que se resumen en la búsqueda de los siguientes principios y nociones:

- *Actividades reales*: presentar tareas auténticas en donde los alumnos conceptualicen información y aporten contextos basados en casos extraídos del mundo real.
- *Construcción de conocimiento*: los estudiantes deberán construir artefactos y compartirlos con su comunidad.
- *Colaboración*: un enfoque colaborativo de aprendizaje basado en negociación social, en lugar de un esquema competitivo que puede provocar rivalidades entre estudiantes.
- *Reflexión*: fomentar las actividades que provoquen un aprendizaje reflexivo por parte de los alumnos.
- *Situación en un contexto*: que permita una adquisición de conocimiento constructiva y contextualizada en escenarios y dominios específicos.
- *Interacción multi-modal*: que aporte múltiples representaciones de la realidad, representando la complejidad natural del mundo real.

Por otro lado, varias de las preguntas generales anteriormente planteadas nos hacen tener en cuenta las tecnologías aplicables y cómo adaptarlas a los requisitos planteados. Todos estos aspectos tecnológicos se discutirán en las siguientes secciones del artículo.

Una importante última cuestión a tener en cuenta es mantener en todo momento un diseño y un desarrollo enfocado hacia los usuarios que van a utilizar el sistema y que redunde en una mayor *usabilidad* de éste [Smith et al. 96]. En el proyecto COLDEX, la aproximación utilizada para diseñar y evaluar tanto las tecnologías como los escenarios de aprendizaje se ha centrado en todo momento en los estudiantes y

profesores. Con el objetivo de evaluar en este sentido el desarrollo del proyecto [Björn et al. 04] [Björn et al. 04b], han tenido lugar experiencias con colegios e instituciones de distintas partes de Sudamérica y Europa. Estas experiencias reciben el nombre de “*Open User Scheme*” y ponen en contacto directo a los profesores y alumnos con los desarrolladores del proyecto.

Finalmente, basándose en todas las consideraciones presentadas en esta sección, éstas serán las distintas funcionalidades principales que el escenario distribuido debe soportar:

- han de mantenerse en el modelo distribuido todas las funcionalidades descritas en el apartado 2.2.
- el contenido tiene que poder estar disponible en toda la red de repositorios. Se debe poder acceder a cualquier objeto que esté guardado en cualquier repositorio desde cualquiera de los servidores de cualquier socio.
- es importante que se pueda acceder a los contenidos de otros repositorios a pesar de que los servidores de los demás socios no se encuentren disponibles. De esta forma los alumnos tienen acceso a los objetos en todo momento.
- se debe dar facilidades a los usuarios para la localización de los contenidos para las diferentes vistas de repositorio y también para todos los repositorios en conjunto.
- cada uno de los socios debe de tener la posibilidad de decidir cuáles son los contenidos que desea distribuir, permitiendo de este modo que haya contenidos privados a los que no se tendrá acceso global.
- no es necesaria una actualización en tiempo real de los contenidos de los repositorios en toda la red. La sincronización puede llevarse a cabo en determinados momentos del día.
- se tienen que aportar mecanismos de autenticación y seguridad para la realización del replicado de contenidos.
- el sistema ha de aportar flexibilidad para la escalabilidad de la arquitectura, permitiendo añadir y configurar nuevos repositorios de forma sencilla.
- a ser posible es necesario utilizar tecnologías

estándar, incluso de carácter libre o gratuito, que promuevan la interoperabilidad.

3. Estado del arte

En la literatura se han propuesto varios modelos de arquitecturas para lidiar con el problema de la distribución de Objetos de Aprendizaje que merece la pena analizar. Básicamente, se pueden agrupar en dos aproximaciones: arquitecturas *peer-to-peer* y arquitecturas *cliente-servidor*.

3.1 Arquitecturas de pares o P2P

En una red de pares (del inglés *peer-to-peer* y en adelante P2P), cada uno de los ordenadores conectados realiza las mismas tareas. Esto contrasta con las arquitecturas cliente-servidor, donde el servidor es el responsable de ofrecer la mayoría de los servicios y el cliente se limita a implementar una interfaz que dé acceso a dichos servicios. Las máquinas conectadas a una red P2P ofrecen una colección de recursos, Objetos de Aprendizaje, en nuestro contexto educativo. Para ello publican metadatos asociados a estos recursos que faciliten su búsqueda. Cuando una máquina realiza una petición de búsqueda, busca dentro de sus propios contenidos y manda esta petición a todas las demás máquinas, que efectúan la misma tarea. Una vez obtenidos todos estos resultados parciales, la máquina inicial los mezcla y los presenta al usuario. Una de las grandes ventajas que presenta este modelo es su robustez. Cuando uno de los peers se queda fuera de servicio, únicamente la información contenida en éste queda inaccesible, mientras que en un modelo cliente-servidor, si el servidor se cae y no está replicado, el cliente no tiene acceso a información alguna.

No obstante, las redes P2P presentan diversos problemas. El intercambio de ficheros e información es típicamente más lento en estos sistemas que en modelos cliente-servidor. Otra desventaja es que, mientras que los servidores pueden replicarse para garantizar las necesidades de escalabilidad, las redes P2P introducen más sobrecarga en la comunicación cuando el número de máquinas aumenta. Cabe destacar también que normalmente los protocolos para este tipo de comunicaciones son difíciles de implementar y depurar, lo que hace a veces buscar planteamientos más sencillos.

Algunas redes de repositorios distribuidos que se han desarrollado siguiendo esta filosofía son los sistemas “POOL, POND and SPLASH”, LOMster y Edutella, que se comentan a continuación.

3.1.1 POOL, POND y SPLASH

El proyecto POOL (Portals for On-line Objects for Learning) [Richards et al. 02] se llevó a cabo desde el 1999 hasta el 2002. Desarrollado por un consorcio de varias organizaciones educativas del sector público y privado, POOL estaba encaminado hacia la construcción de una red de repositorios con la intención de ofrecer un amplio catálogo de objetos de aprendizaje dentro de un proyecto nacional canadiense de tele-aprendizaje. El principal objetivo de esta infraestructura consiste en la interconexión de repositorios heterogéneos en una sola red.

El modelo distribuido de POOL está basado en las incipientes redes P2P de aquel momento [Hatala et al. 02]. Los nodos que lo constituyen pueden ser repositorios de usuarios individuales, llamados SPLASH, o repositorios de comunidades con mayores dotaciones tecnológicas, apodados POND. Todos ellos se combinan bajo el protocolo P2P que es supervisado por los nodos POOL. Estos nodos no poseen contenidos pero aportan replicación de las peticiones de búsqueda facilitando una mayor rapidez y exhaustividad en éstas.

Para catalogar los objetos, el proyecto POOL usa un conjunto de metadatos denominado CanCore, que se encuentra a medio camino del amplio IEEE LOM [LOM 02] y del minimalista DublinCore [Weibel et al. 98]. CanCore cuenta con un total de 36 campos compatibles con el estándar LOM.

La implementación de la arquitectura está basada en JXTA de Sun Microsystems, una plataforma para facilitar el desarrollo de redes de P2P.

3.1.2. LOMster

LOMster [Ternier et al. 02] es un sistema que toma como modelo de inspiración otras redes P2P, como la red de intercambio musical Napster. Sin embargo, el fin que se persigue aquí es promover la compartición de objetos de aprendizaje. El cliente LOMster está orientado a utilizarse en máquinas con pocos

recursos, normalmente ordenadores personales de diseñadores individuales de contenidos pedagógicos, que quieren participar en la red compartiendo sus objetos y disfrutar del servicio de búsqueda que brinda esta red.

La compartición está pensada para realizarse de una manera sencilla, y sólo hace falta colocar los objetos de aprendizaje a compartir en un determinado directorio dentro del ordenador. A partir de los ficheros ahí contenidos, se generaran otros ficheros XML donde se salvan todos los metadatos de éstos. A partir de entonces es posible realizar búsquedas en la red P2P mediante el cliente LOMster.

Este sistema se basa en el estándar LOM para metadocumentar los objetos y realizar búsquedas. Además utiliza JXTA para distribuir las consultas y descargar/subir objetos de aprendizaje.

3.1.3. Edutella

El proyecto Edutella [Nejdl et al. 02] surge de la misma idea que el anterior, de hecho el nombre se basa en otro conocido programa P2P llamado Gnutella, y también busca la compartición y reusabilidad de objetos de aprendizaje utilizando una arquitectura P2P de la misma forma.

Se trata de un proyecto de código abierto que, al igual que los otros dos anteriores, usa la plataforma JXTA. Sin embargo, en vez de hacer uso del conjunto de metadatos LOM, usa una estructura propia basada en RDF.

3.2. Arquitecturas cliente-servidor

Normalmente los protocolos P2P son complejos de implementar. Esto hace que la mayoría de Repositorios de Objetos de Aprendizaje se desarrollen siguiendo un planteamiento cliente-servidor e incluso, para simplificar aún más, utilizan un repositorio central [Neven et al. 02]. Cabe destacar que un repositorio centralizado puede resultar a veces interesante ya que puede simplificar el mantenimiento de la red, o incluso cuando se desea hacer más sencilla la aplicación de un control de derechos sobre los contenidos.

Sin embargo, cuando un solo repositorio central no es lo deseado, si se quiere disfrutar de las ventajas de un

esquema distribuido en un modelo cliente-servidor entonces se necesita realizar un planteamiento de replicación que puede ser o bien completo, los metadatos y/o contenidos de los Objetos de Aprendizaje son duplicados en todos los repositorios, o bien parcial, en el que únicamente hay una replicación en determinados repositorios y habrá que propagar una búsqueda a través de los servidores. Un ejemplo del primero es el sistema ARIADNE. Un ejemplo de replicación parcial es el sistema CeLeBraTe.

Normalmente, en estos sistemas, lo que únicamente suele replicarse son los metadatos, aportando un enlace hacia los contenidos, que pueden encontrarse en cualquier servidor. Como se expondrá más adelante, el sistema COLDEX se diseñará con una arquitectura distribuida basada en una replicación completa en todos sus repositorios, en la que además tanto los metadatos como los contenidos de los objetos de aprendizaje serán distribuidos.

3.2.1. ARIADNE Knowledge Pool System

La fundación ARIADNE [Ariadne 02] une a un conjunto de veinticuatro socios pertenecientes a un total de ocho países europeos, junto con varias empresas colaboradoras. Su objetivo es el de proveer y compartir contenidos didácticos, generados tanto en contextos académicos como corporativos, dando facilidades para distribuir y buscar estos materiales didácticos dentro de una red de colegios e instituciones. Para cumplir con este objetivo, el proyecto ARIADNE cuenta con su sistema Knowledge Pool System (KPS) [Duval et al. 01].

El sistema KPS configura una red europea de repositorios distribuidos y adopta una arquitectura fuertemente acoplada en la cual tanto los metadatos como los documentos están almacenados en un repositorio central. La red del KPS se establece como una topología jerárquica en estrella de tres niveles. Utiliza un mecanismo de replicado simple. Con el fin de dar más soporte a los repositorios locales, los metadatos están replicados a través de todos los nodos del sistema. Esto da la posibilidad de realizar búsquedas, con carácter local, para encontrar cualquier objeto de toda la red, sin tener que acceder al repositorio central y copar su ancho de banda.

3.2.2. CeLeBraTe

La arquitectura desarrollada por el proyecto CeLeBraTe [Celebrate 02], desde Junio del 2002 hasta Noviembre del 2004, está orientada con el fin de dar soporte a la ELN (European Learning Network), una red de entornos virtuales de aprendizaje capaz de permitir el intercambio de los recursos digitales de aprendizaje almacenados. El sistema cuenta con un servidor central que funciona como broker entre los distintos proveedores de recursos y contenidos, y los sistemas de aprendizaje que los solicitan. No se permiten intercambios directos entre los clientes, excepto los autorizados explícitamente por el servidor broker. Esto es así porque en esta arquitectura se le da gran relevancia a los derechos de autor. Gracias a este sistema de broker, se da soporte de una manera centralizada y fácil de administrar a la mediación de los servicios, derechos y contratos que tienen las diversas entidades que operan en la red sobre los distintos objetos de aprendizaje.

Se puede decir por tanto que CeLeBraTe consiste en una federación de servicios que está construida sobre este sistema de broker. No obstante, a pesar de la centralización de todas estas funcionalidades, CeLeBraTe ofrece un ejemplo de replicación parcial. Los metadatos de los objetos de aprendizaje de las distintas entidades proveedoras pueden estar almacenados en su propio repositorio, en el repositorio central, o en ambos. Debido a esta distribución parcial, para encontrar y recuperar objetos es necesario utilizar búsquedas federadas [Van Assche et al. 04]. Estas búsquedas recorren todos los miembros de la federación para localizar los objetos deseados en función del criterio de búsqueda. CeLeBraTe aporta una serie de formatos y protocolos para que los repositorios de la red puedan interoperar con el sistema de broker, e indirectamente, entre ellos mismos.

Así, al ser una mezcla híbrida, esta arquitectura posee más flexibilidad que una aproximación puramente centralizada, ya que por un lado permite coexistir el repositorio central de metadatos y los repositorios locales, que sólo necesitan confiar y comunicarse con el sistema de broker, y por otro lado se logra un

control centralizado sobre los derechos de distribución de los objetos.

La comunicación está implementada mediante mensajes asíncronos JMS, y llamadas síncronas JAXRPC. Para aportar interoperabilidad se codifican estos mensajes mediante lenguaje XML y todos los metadatos están basados en una interpretación del estándar IEEE LOM, al que por ejemplo se le han añadido ciertos campos extra para permitir la inclusión de los derechos digitales de CeLeBraTe en los objetos de aprendizaje.

4. Opciones Técnicas de Distribución consideradas para COLDEX

En la tabla 2 se resumen las distintas opciones técnicas que se tomaron en consideración a la hora de tener que diseñar la arquitectura distribuida del sistema [Verdejo et al. 04c].

Descartada la aproximación P2P, se consideró en primer lugar una aproximación centralizada (1), en la que los distintos servidores usaban un repositorio central. A pesar de tener como principal ventaja su simplicidad, sólo se dispondría de una copia de los objetos y si el servidor central se cae o pierde los datos no se podrían acceder desde ninguna otra parte del sistema. Por ello a continuación se buscó una solución distribuida basada en la replicación maestro-esclavo (2) (3) que ofrecen ciertos sistemas de almacenamiento [MySQL] [OpenLDAP]. Cada servidor tendría su propio repositorio, pero cualquier actualización debería pasar por el servidor maestro. Dado que el maestro podría ser un cuello de botella, más tarde se pensó en una replicación a modo de cluster (4) usando tecnología C-JDBC [C-JDBC]. Ésta ofrece una solución robusta basada en controladores que se colocan por encima de la capa de almacenamiento y gestionan la replicación de forma transparente. No obstante, ofrece problemas al usarse en redes extensas como Internet. También se pensó en crear una arquitectura distribuida (5) usando JMS y tecnología EJB [JMS], aunque estas arquitecturas suelen presentar bastante complejidad a la hora de su implementación y depurado.

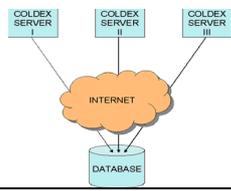
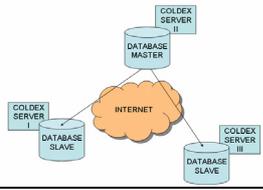
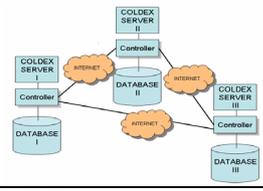
Opción técnica considerada	Ventajas	Inconvenientes
<p>(1) Repositorio en BD centralizado</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Modelo simple de establecer ■ Ausencia de problemas de integridad, al existir únicamente un repositorio 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sólo una copia de los objetos. ■ Posible denegación de servicio si el servidor que alberga el repositorio no está disponible
<p>(2) Replicación DB (3) Replicación LDAP</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mayor robustez que el esquema centralizado ■ Mejor tiempo de respuesta ya que cada servidor cuenta con su propio repositorio local 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Actualizaciones unidireccionales, todas tienen que pasar por el maestro ■ El maestro puede ser un cuello de botella.
<p>(4) Cluster BD</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Alta escalabilidad ■ Tolerancia a fallos y robustez ■ Descentralizado 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Problemas de particionado del sistema en redes de largo alcance
<p>(5) JMS y EJB</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Esquema distribuido robusto, si se hace un buen diseño de éste 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gran complejidad de implementación y depurado
<p>(6) Servicios web</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Descentralizado y con bajo acoplamiento entre servidores ■ Flexibilidad y robustez 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Comunicación verbosa, que puede redundar en una mayor lentitud de ésta.

Tabla 2. Opciones técnicas consideradas

Finalmente se consideró una solución basada en servicios web (6). Los servicios web [WS 02] se basan en el protocolo SOAP. Se trata de un protocolo de comunicación y codificación descrito en XML para la comunicación entre aplicaciones. SOAP aporta una descripción de los tipos de datos permitidos para hacer las llamadas a los servicios, un formato para los mensajes, y las recomendaciones para que estos sean transportados vía HTTP. Ya ha habido previos acercamientos al uso de los servicios web dentro del ámbito de los repositorios de objetos de aprendizaje [Ternier et al. 03] [Hatala et al. 04], lo que muestra el interés que suscitan en este contexto en concreto. Gracias a los servicios web, es posible que los distintos servidores de COLDEX puedan comunicarse entre ellos de una forma sencilla y desacoplada para intercambiar los distintos objetos de aprendizaje, realizar búsquedas, etc.

Además de la interoperabilidad entre repositorios, también resulta interesante que ésta se dé con otros programas o agentes externos. Este es el caso en el sistema COLDEX, que ofrece funcionalidades para almacenar, buscar y recuperar Objetos de Aprendizaje de su repositorio, utilizando para ello servicios web [Verdejo et al. 04d], y que ha sido un elemento a tomar en consideración a la hora de elegir también los servicios web entre las distintas opciones tecnológicas para la distribución.

5. Distribución de Objetos de Aprendizaje mediante Servicios Web

El sistema COLDEX está compuesto por varios servidores localizados en distintas situaciones geográficas. Los miembros del proyecto pueden contar con su propia instalación físicamente separada

de las demás, que incluye su propio Portal y Repositorio de Objetos de Aprendizaje. En la Figura 5 se muestra la configuración actual, formada por tres servidores situados en Duisburg (Alemania), Växjö (Suecia) y Madrid (España). Cada servidor contiene su propia estructura social, con sus propios grupos y usuarios, distribuyéndose únicamente los objetos de los repositorios que cada socio del proyecto elige compartir y estableciendo de este modo una arquitectura débilmente acoplada entre servidores.



Figura 5. Configuración actual de los servidores

La solución de distribución gestiona toda la sincronización de datos, propagando los cambios de un repositorio a los demás, para que toda la comunidad COLDEX tenga acceso a todos los Objetos de Aprendizaje compartidos. Existe una replicación total tanto de los metadatos, para que las búsquedas se puedan realizar de forma local evitando demoras causadas por la red, como de los contenidos, para que la información esté siempre disponible a pesar de que se caiga el servidor donde se creó.

La Arquitectura Distribuida de COLDEX [Verdejo et al. 04c] proporciona por tanto una replicación completa de metadatos y contenidos de los objetos de aprendizaje almacenados en los servidores COLDEX. Todas las operaciones de comunicación necesarias para llevar a cabo el proceso de sincronización entre servidores se realizan mediante servicios web. Gracias a esta aproximación orientada a servicios, obtenemos una arquitectura débilmente acoplada que aporta al sistema más flexibilidad y mayor facilidad a la hora de añadir o cambiar repositorios.

A pesar de no seguir un modelo P2P, la red de servidores COLDEX puede verse como una

arquitectura descentralizada. Ningún servidor tiene más privilegios ni presta más servicios que los demás. De hecho, cada servidor es responsable de la actualización de su propio repositorio, teniendo que preguntar a los demás por sus objetos, compararlos con los suyos, y realizar las pertinentes sincronizaciones. Esta aproximación es la que aporta carácter descentralizado a la arquitectura.

Los objetos de aprendizaje procedentes de servidores remotos se almacenan dentro de unas vistas nuevas de repositorio, creadas especialmente para este propósito. Estas vistas de repositorio reciben el nombre de *repositorios espejo*. Los repositorios espejo son una solución técnica al problema de la distribución de contenidos. Representan a cada uno de los repositorios remotos a los que replica el servidor. Tal y como se puede ver en el esquema de la Figura 6, cada servidor cuenta con sus vistas de repositorio (Repository I.1, Repository I.2, etc...) correspondientes a los distintos niveles sociales, y además poseen un repositorio espejo (Mirror I, Mirror II, etc...) por cada uno de los demás repositorios de la red.

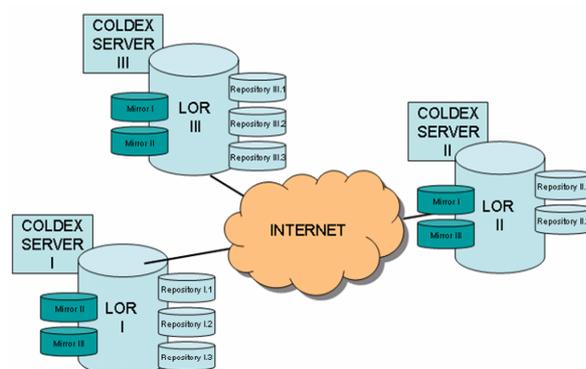


Figura 6. Esquema de los repositorios espejo

Los usuarios pueden buscar, ver y descargar los objetos de aprendizaje contenidos en los repositorios espejo de la misma forma que lo hacen en cualquier vista de repositorio. La interfaz de acceso que se aporta es la misma. No obstante, existe una diferencia fundamental con respecto a las otras vistas. No es posible modificar un objeto contenido en un repositorio espejo, ya que ese objeto pertenece en realidad a la comunidad donde se creó. Si se pretende cambiar cualquier información de alguno de estos objetos, tendrá que ser primeramente copiado, es

decir, creando una nueva versión de él en una vista de repositorio local, para posteriormente modificarlo. Esta restricción por un lado simplifica todo el proceso de sincronización, ya que los objetos sólo pueden ser modificados en su lugar de origen y gracias a ello se eliminan problemas de integridad, y por otro, dado el planteamiento pedagógico buscado, induce a que cada apropiación tiene que suponer un cambio.

De esta forma se puede acceder a los contenidos disponibles de cualquier repositorio remoto de COLDEX y realizar búsquedas sobre él. No obstante, se permite otra modalidad de búsqueda, que normalmente resulta la más útil, y que permite buscar en todos los contenidos accesibles de COLDEX. Es muy probable que esta modalidad devuelva un número elevado de resultados, es por ello que se aporta la funcionalidad de refinamiento, que permite hacer sucesivas búsquedas sobre los resultados que se van obteniendo.

5.1. Configuración y Administración de la Red de Repositorios

Cada servidor gestiona una lista con los distintos repositorios a replicar. Ésta contiene la localización junto con los nombres de usuario y contraseñas que el administrador del servidor remoto nos ha de otorgar para su replicación.

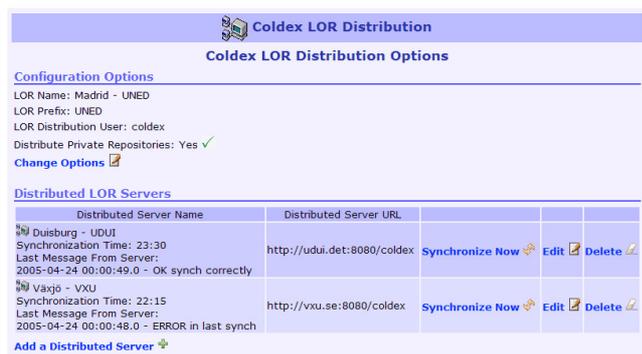


Figura 7. Panel de control de distribución en COLDEX

En la Figura 7 se puede observar el panel de control de distribución de repositorios de un servidor COLDEX. Desde él es posible administrar la lista de repositorios que se desea replicar, indicando los horarios de replicación, usuarios y contraseñas. También es posible especificar si se desea distribuir o no los contenidos de las vistas de repositorio privadas

del servidor. Al tener esto carácter local en el servidor en el que se aplica, cada socio tiene la posibilidad de configurar su repositorio según sus propias políticas de compartición. Esta flexibilidad que brinda el sistema resulta muy ventajosa para poder seleccionar el mecanismo de compartición que más se adapte a las filosofías funcionales de las comunidades.

El replicar un nuevo repositorio remoto es tan fácil como añadir una nueva entrada a la lista. El sistema se encargará de crear un nuevo repositorio espejo en el servidor local y lo poblará automáticamente con los objetos remotos. Esta solución representa una aportación importante frente a la distribución 'fija' que se ofrece en otros sistemas.

5.2. El proceso de sincronización

Dentro de cada servidor COLDEX, existe un demonio que se encarga de realizar el proceso de actualización a la hora señalada para cada repositorio a replicar. Cuando este demonio de distribución despierta, sincroniza el repositorio espejo situado en el servidor local, con los objetos de aprendizaje del repositorio remoto. Todo el proceso de comunicación entre ambos servidores es realizado mediante servicios web.

Cuando este proceso se inicia, el demonio se autentifica en el repositorio remoto y pide la lista de sus objetos de aprendizaje, efectuando sendas llamadas a los servicios web correspondientes. El servidor remoto devuelve una respuesta en formato XML, en la que aparecen los objetos de aprendizaje referidos mediante su identificador, junto con la fecha de última modificación y su tipo. Este identificador define de una forma unívoca un objeto y es el mecanismo que se utilizará para determinar la existencia o no de un objeto en el repositorio remoto.

Cabe destacar que en función de la política de compartición de objetos del servidor remoto, habrá objetos de aprendizaje de éste que no aparecerán en la lista devuelta. De esta manera se consigue que sólo los objetos destinados a ser compartidos, se distribuyan por toda la red.

Después de obtener su lista de objetos, el servidor local es responsable de pedir solamente la

Posibilidad	Causa	Acción requerida
(1) El objeto está presente en el repositorio espejo y en el servidor remoto, ambos con la misma hora de última modificación.	El objeto remoto no ha sido modificado	No hace falta hacer nada.
(2) El objeto está presente en el repositorio espejo y en el servidor remoto, pero con distinta hora de última modificación.	Los metadatos del objeto remoto han sido modificados.	Pedir los metadatos del objeto remoto y efectuar modificaciones en el repositorio espejo.
(3) El objeto está presente en el servidor remoto, pero no existe en el repositorio espejo.	Un nuevo objeto ha sido creado en el servidor remoto.	Pedir el objeto (contenidos y metadatos) y añadirlo al repositorio espejo.
(4) El objeto está presente en el repositorio espejo, pero no existe en el servidor remoto.	El objeto ha sido borrado del servidor remoto.	Borrarlo del repositorio espejo

Tabla 3. Posibilidades durante la comprobación de la lista de objetos remotos

información necesaria al servidor remoto para gestionar su propia actualización, minimizando el tráfico de objetos de aprendizaje. Para esto, dispone de servicios web para pedir, o bien sólo los metadatos, o bien un objeto entero. El servidor local compara los objetos de la lista recibida con los presentes en su repositorio espejo, teniendo en cuenta las fechas de última modificación. En el proceso de comparación pueden darse cuatro posibilidades, reflejadas en la Tabla 3. Si existe un objeto con idénticos identificadores y fechas de modificación en ambos repositorios, no es necesario hacer nada (1). Un objeto se considera modificado cuando sus metadatos han cambiado (2). Cuando cambia su contenido se considera que es un objeto distinto y cuenta con un identificador nuevo, haciendo necesario recuperarlo en su totalidad (3). Y finalmente, si desaparece del repositorio remoto, hay que proceder a borrarlo del local (4)

Puede darse el caso de que exista en el servidor remoto un objeto de aprendizaje con un tipo y un esquema de metadatos que no esté todavía presente en el servidor local, y por tanto no se pueda añadir. Para resolver este problema, mientras está revisando la lista de objetos del servidor remoto, el demonio comprueba los tipos de objetos y cuando encuentra uno del que no se tiene su esquema de metadatos, procede a pedirlo usando el servicio web con dicho

fin. Una vez obtenido como respuesta la definición del tipo junto con sus esquemas de metadatos, lo integra en el sistema, y es capaz ya de almacenar dicho objeto de aprendizaje y sus metadatos. De este modo se propagan los distintos esquemas de metadatos y tipos de objetos de aprendizaje a lo largo de la red de repositorios, permitiendo definirse de forma dinámica en cualquier servidor nuevos tipos y esquemas.

5.3. Implementación

El Portal COLDEX ha sido implementado usando diferentes tecnologías Java y corre como una aplicación web en un contenedor Tomcat. Para desarrollar los servicios web se ha usado el marco de trabajo Axis [Axis] que ofrece una implementación del protocolo SOAP y que aporta facilidades de integración con la plataforma Tomcat.

6. Conclusiones

En este artículo hemos mostrado una arquitectura distribuida que, atendiendo a las opciones tecnológicas y a las necesidades pedagógicas de la comunidad COLDEX, da solución al problema de distribución de Objetos de Aprendizaje para hacerlos accesibles a todos sus usuarios. El Portal COLDEX y

su Repositorio de Objetos de Aprendizaje han sido utilizados en diversas experiencias donde distintos grupos han generado un número aproximado de 300 objetos en los diferentes escenarios. En particular se ha trabajado en pruebas piloto con alumnos y profesores en tres escenarios: cráteres en la luna, laberintos con robots y crecimiento artificial de plantas. En los tres escenarios, hay tareas diversas de observación de datos, de obtención de datos con dispositivos remotos y de modelado. Por ejemplo en el caso de cráteres en la luna, se obtienen fotos tomadas con un telescopio remoto ubicado en Madrid y guardadas como Objetos de Aprendizaje (metadocumentados) en el servidor de la UNED, sobre estas fotos se trabaja con la herramienta CoolModes en Duisburg, para calcular la profundidad de los cráteres. Los resultados de los alumnos han sido utilizados para seminarios de trabajo en la EXperiment House en Växjö.

Los servicios web ofrecen muchas facilidades a la hora de conseguir interoperabilidad en/entre diversos sistemas. La comunidad e-learning se encuentra ya muy concienciada de los beneficios que reportan los sistemas y contenidos interoperables entre sí, y poco a poco van apareciendo sistemas que utilizan servicios web para comunicarse mediante un protocolo estándar con cualquier otro sistema. Siguiendo esta filosofía, gracias a los servicios web, la distribución de contenidos dentro de COLDEX muestra esa interoperabilidad, y hace en teoría posible que cualquier sistema, independientemente de su arquitectura e implementación interna, pueda acceder a los servicios que el repositorio brinda de forma remota, incluida su distribución de contenidos mediante replicación.

Una característica importante que presenta la arquitectura distribuida aquí mostrada, y que es preciso recalcar, es su flexibilidad. El tener una arquitectura orientada a servicios hace que todos y cada uno de los repositorios que integran el sistema estén débilmente acoplados entre sí. Esto permite una administración y gestión de la red de repositorios bastante sencilla. Además, la perspectiva arquitectónica de vistas de repositorios que se ha tomado, facilita la inclusión de nuevos repositorios o modificación de una manera fácil, cómoda y dinámica.

No obstante, debido a ciertas decisiones tomadas, basadas en gran medida por los requisitos pedagógicos que imponía el modelo propio de este contexto, no se puede decir que esta solución pueda ser extrapolada sin realizar cambios sobre ella para otras comunidades de aprendizaje. Por ejemplo, la decisión de replicar todos los contenidos para que estén disponibles localmente en todos los servidores del sistema, es una solución apta para las comunidades locales de COLDEX, pero que puede llevar a problemas de escalabilidad si se desea implantar un esquema similar en sistemas con vastos catálogos de objetos de aprendizaje comerciales.

En el futuro se pretende estudiar la escalabilidad del sistema y cómo éste evoluciona, tanto al aumentar el número de Objetos de Aprendizaje que se almacenen, como a la hora de añadir nuevos repositorios a la comunidad.

Nota y agradecimientos

Este artículo es una versión revisada y extendida del artículo [Celorrio et al. 05] presentado en el CEDI'05 de Granada. El trabajo relatado en este artículo ha sido desarrollado dentro del proyecto europeo COLDEX (IST-2001-32327) y continuará desarrollándose dentro del marco que aporta el proyecto nacional ENLACE (TIN 2004-04232). Los autores agradecen a los revisores anónimos las sugerencias recibidas para mejorar el artículo.

Referencias

- [Axis] Apache AXIS. <http://ws.apache.org/axis/>
- [Ariadne 02] ARIADNE Foundation for the European Knowledge Pool. <http://www.ariadne-eu.org/>
- [Björn et al. 04] Björn, M; Karlsson, M; Milrad, M.; Hoppe, U.; Wichmann, A. & Otero, N. *Evaluation Plan I: Methodology and Examples*. COLDEX Deliverable 2.3.2
- [Björn et al. 04b] Björn, Marianne; Karlsson, Marine; Milrad, Marcelo; Wichmann, Astrid & Ulrich, Hoppe. *Evaluation Plan II: Specialised Evaluation and Test Plan*. COLDEX Deliverable 8.1.1

- [Celebrate 02] CeLeBraTe (IST-35188) *Context eLearning with broadband technologies*. <http://celebrate.eun.org>
- [Celorrio et al. 05] Celorrio C.; Verdejo, M.F. & Barros, B. *Una Aproximación a la Distribución de Repositorios de Objetos de Aprendizaje basada en Servicios Web*. Actas del SINTICE (Simposio Nacional de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la Educación), CEDI'2005, Granada.
- [C-JDBC] C-JDBC. <http://c-jdbc.objectweb.org/>
- [COLDEX 01] COLDEX (IST-2001-32327) *Collaborative Learning and Distributed Experimentation* <http://www.coldex.info>
- [Duval et al. 01] Duval, E.; Forte E.; Cardinaels, K.; Verhoeven, B.; Van Durm, R.; Hendrikx, K.; Wentland Forte, M.; Ebel, N.; Macowicz, M.; Warkentyne, K. and Haenni, F. *The ARIADNE Knowledge Pool System*, Communications of the ACM, 2001, Vol. 44, Nr. 5.
- [Hatala et al. 02] Hatala, M & Richards, G. *Pool, pond and splash: A canadian infrastructure for learning object repositories*. En Proceedings of the 5th IASTED Int. Conference on Computers and Advanced Technology in Education, pp. 54-59, Cancun, Mexico, 2002.
- [Hatala et al. 04] Hatala, M.; Richards, G.; Eap, T. and Wilms, J. *The Interoperability of Learning Object Repositories and Services: Standards, Implementations and Lessons Learned*. En Proceedings of the 13th international World Wide Web conference on Alternate track papers & posters, 2004, pp. 19-27.
- [Hoppe et al. 05] Hoppe, U.; Verdejo, M.F.; Pinkwart, N.; Barros, B.; Oelinger, M; Mayorga, J.I. y Zeini, S. *Building Bridges within Learning Communities through Ontologies and "Thematic Objects"*. Computer Supported Collaborative Learning, 2005.
- [LOM 02] IEEE Standards Department. IEEE 1484.12.1-2002, Learning Object Metadata Standard. http://ltsc.ieee.org/wg12/files/LOM_1484_12_1_v1_Final_Draft.pdf, July 2002.
- [JMS] JMS. <http://java.sun.com/products/jms/>
- [Mayorga et al. 05] Mayorga, J.I.; Barros, B.; Celorrio, C. and Verdejo, M.F. *An Ontology-driven Portal for a Collaborative Learning Community*. AIED'05 Proceedings, IOS Press.
- [Mayorga et al. 05b] Mayorga, J.I., Celorrio, C., Lorenzo, E.J., Vélez, J., Barros, B., Verdejo, M.F. *Una aplicación semántica de apoyo a Comunidades Virtuales de Aprendizaje Colaborativo*. XI Conferencia de la Asociación Española de Inteligencia Artificial, Santiago de Compostela, 2005.
- [Milrad et al. 04] Milrad, M.; Björn, M; Karlsson, M & Hoppe, U. *Learning Requirements*. COLDEX Deliverable 2.2.1.
- [Milrad et al. 04b] Milrad, M.; Gottdenker, J.; Hoppe, U.; Verdejo, F.; Baloian, N. & Pinazo A. *Collaborative Learning Scenarios*. COLDEX Deliverable 2.2.2.
- [MySQL] MySQL. <http://www.mysql.com/>
- [Nejdl et al. 02] Nejdl, W.; Wolf, B.; Qu, C.; Decker, S.; Sintek, M.; Naeve, A.; Nilsson, M.; Palmr, M. and Risch, T. *Edutella: A p2p networking infrastructure based on rdf*. In Proceedings of the Eleventh International World Wide Web Conference, Honolulu, Hawaii, 2002.
- [Neven et al. 02] Neven, F. and Duval, E. *Reusable learning objects: a survey of lom-based repositories*. In Proceedings of ACM Multimedia. ACM, 2002.
- [OpenLDAP] OpenLDAP. <http://www.openldap.org/>
- [Otero et al. 04] Otero, N.; Vala, A.; Paiva, A.; Oelinger, M.; Verdejo, M. F.; Barros, B.; Calero, Y.; Read, T.; Wichmann, A & Milrad, M. *Local Scenarios - Description of System Prototypes*. COLDEX Deliverable 5.2.1/5.3.1
- [Pinkwart 03] Pinkwart, N. *A Plug-In Architecture for Graph Based Collaborative Modeling Systems*. En U. Hoppe, F. Verdejo & J. Kay (eds.): *Shaping the Future of Learning through Intelligent Technologies*. Proceedings of the 11th Conference on Artificial Intelligence in Education, pp. 535-536, 2003.
- [Richards et al. 02] Richards, G.; McGreal, R.; Hatala, M. and Friesen, N. *The evolution of learning object repository technologies: Portals*

- for on-line objects for learning*. Journal of Distance Education, 17(3): pp. 67–79, 2002.
- [Sánchez et al. 04] Sánchez, F.; Pinazo, A.; Martínez, R.; Sebastian, J.M.; Aracil, R.; Baloian, N.; Oelinger, M. & Diehl, S.; *Remote Scenarios - Description of System Prototypes*. COLDEX Deliverable 4.2.1 / 4.3.1
- [Smith et al. 96] Smith, C & Mayes, T. *Telematics Applications for Education and Training: Usability Guide*. Commission of the European Communities, DGXIII Project, 1996.
- [Ternier et al. 02] Ternier, S.; Duval, E. and Vandepitte, P. *Lomster: Peer-to-peer learning object metadata*. In P. Barker and S. Rebelsky, editors, Proceedings of Ed-Media, pp. 1942–1943. AACE, AACE, 2002.
- [Ternier et al. 03] Ternier, S.; Neven, F. and Duval, E. *Web services for Learning Object Repositories: a Case Study – the ARIADNE Knowledge Pool System*. Poster at The Twelfth International World Wide Web Conference, Budapest, Hungary, 2003.
- [Van Assche et al. 04] Van Assche, F. and Massart, D. *Federation and Brokerage of Learning Objects and Their Metadata*. Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'04) - Volume 00. pp. 316-320
- [Vélez et al. 05] Vélez, J.; Mayorga, J.I.; Barros, B. and Verdejo, M.F. *A Metamodel for defining and managing web communities*. Web Based Communities, 2005.
- [Verdejo et al. 04] Verdejo, M.F.; Barros, B.; Mayorga, J.I. and Read, T. *Designing a Semantic Portal for Collaborative Learning Communities*. R. Conejo et al. (Eds.): CAEPIA-TTIA 2003, LNAI 3040, pp. 251-259, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2004.
- [Verdejo et al. 04b] Verdejo, M.F.; Barros, B.; Mayorga, J.I.; Velez, J. *Functional Documentation - Metadata Definitions*. COLDEX Deliverable 7.2.2 Addenda.
- [Verdejo et al. 04c] Verdejo, M.F.; Celorrio, C.; Barros, B.; Velez, J. and Mayorga, J.I. *Network Specifications - Distributed Issues for COLDEX System Architecture*. COLDEX Deliverable 6.1.1 Addenda 1.
- [Verdejo et al. 04d] Verdejo, M.F.; Vélez, J.; Barros, B.; Celorrio, C. and Mayorga, J.I. *Tools Integration*. COLDEX Deliverable 7.2.2.
- [WS 02] Web Services. W3C. <http://www.w3.org/2002/ws/>
- [Weibel et al. 98] Weibel, S., Kunze, J., Lagoze, C. & Wolfe, M. (1998). *Dublin Core metadata for resource discovery*. Internet RFC-2413. <ftp://ftp.isi.edu/in-notes/rfc2413.txt>.
- [Wiley 01] Wiley, D.A.: *Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy*, in: Wiley, D.A. (Ed.): *The Instructional Use of Learning Objects*, Association for Instructional Technology and Association for Educational Communications and Technology, 2001