



# Aula Virtual. Evolución del hardware y mejora de resultados



**Paloma Moreno Clarí**

Profesora Ayudante del Departament d'Informàtica de la Universitat de València  
Paloma.Moreno@uv.es



**Agustín López Bueno**

Técnico Superior del Servei d'Informàtica de la Universitat de València  
Agustin.Lopez@uv.es



**Salvador Roca Marquina**

Subdirector del Servei d'Informàtica de la Universitat de València  
Salvador.Roca@uv.es

| Fecha presentación: 15/04/2009 | Aceptación: 20/05/2009 | Publicación: 30/06/2009

## Resumen

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) han contribuido al desarrollo de plataformas e-learning de apoyo a los procesos de enseñanza-aprendizaje. Actualmente, la mayoría de universidades cuentan con algún tipo de sistema de gestión del aprendizaje (en inglés, LMS). El óptimo uso de estas plataformas (que han de incluir a toda la comunidad académica) requiere que integren las aplicaciones preexistentes de forma transparente. Esto se consigue con el uso de una arquitectura robusta. En este artículo expondremos la implementación y arquitectura del LMS integrado de la Universitat de València y la evolución de su hardware para adecuarse de manera óptima a las necesidades de la comunidad universitaria.

**Palabras clave:** e-learning, sistemas de gestión del aprendizaje, open source, evolución del hardware

## Resum

Les Tecnologies de la Informació i Comunicació (TIC) han contribuït al desenvolupament de plataformes de e-learning de suport als processos d'ensenyament-aprenentatge. Actualment, la majoria d'universitats utilitzen algun tipus de sistema de gestió de l'aprenentatge (en anglès, LMS). L'ús òptim d'aquestes plataformes (que han d'incloure a tota la comunitat acadèmica) requereix la integració transparent de les aplicacions preexistents. A aquest article exposarem la implementació, principals funcionalitats i arquitectura del LMS integrat de la Universitat de València (Aula Virtual), i la evolució del hardware al llarg de quatre anys, per una millor adequació a les necessitats de la comunitat universitària.

**Paraules clau:** e-learning, sistemes de gestió de l'aprenentatge, open source, evolució del hardware

## Abstract

The Information and Communication Technologies (ICT) have led to the development of learning platforms to support teaching and learning activities. Nowadays most universities provide their academic community with some form of a learning management system (LMS). To achieve the optimal use of such type of systems, they must integrate all their academic community and preexisting applications at its institutions. These complex objectives can be reached by using a robust architecture. In this paper, we expose the Universitat de València particular case: The integrated LMS implementation, main functionalities, architecture base, and hardware four years evolution to better adequate to community requirements.

**Keywords:** e-learning, learning management system, open source, hardware evolution



## 1. Introducción

La reciente revolución tecnológica y, consecuentemente, pedagógica, ha llevado a un aumento exponencial de la formación apoyada en nuevas tecnologías, y a un cambio en la forma de enfocar el proceso de enseñanza-aprendizaje. Actualmente intervienen en el proceso educativo de igual manera alumnos y profesores, hecho que aumenta en gran medida su complejidad (Cerverón *et al.* 2007; Gabiola *et al.* 2008). De modo que tanto las personas involucradas como los contenidos y herramientas deben evolucionar para adaptarse a estos cambios (Pallof *et al.* 2003). Las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) ofrecen acceso casi ilimitado y ubicuo a todo tipo de contenidos (Brooks 2003) y contribuyen a mejorar la interacción, a menudo limitada por restricciones espacio-temporales en las aulas tradicionales. Sin embargo, la dotación de infraestructuras tecnológicas no garantiza, por sí misma, el cumplimiento de los objetivos educativos actuales (Zurita *et al.* 2005). Por el contrario, también es necesario hacer un uso adecuado de los recursos disponibles, para así lograr unos resultados eficientes. Por este motivo, deben diseñarse planes y acciones adecuados para una correcta y óptima utilización de los equipos y aplicaciones existentes. Actualmente, la mayoría de las universidades siguen ofreciendo educación principalmente presencial (García-Tobío *et al.* 2006; Tójar *et al.* 2005), y utilizan las herramientas que ofrecen las plataformas de gestión del aprendizaje para potenciar y mejorar la experiencia educativa (Barajas *et al.* 2007).

En el presente artículo presentamos el caso particular de evolución del hardware (a lo largo de cuatro años de implantación) de la Universitat de València (UV), para conseguir la óptima utilización de su plataforma de gestión del aprendizaje, Aula Virtual, que incluye en su uso a toda la comunidad universitaria e integra las aplicaciones preexistentes. En primer lugar, se expone el punto de partida (curso académico 2003-2004), presentando brevemente el proceso de selección del LMS, su implementación, principales herramientas, e integración con las aplicaciones preexistentes, así como la evolución de sus funcionalidades. A continuación describiremos la arquitectura open source en que se basa el LMS personalizado en la Universitat de València: OpenACS y .LRN (Moreno *et al.* 2007). En tercer lugar, se exponen los cambios en el hardware y su evolución. Estos cambios se han ido realizando para mejorar tanto la carga del sistema como el acceso a todas las herramientas y módulos. Finalizaremos con las conclusiones y el esbozo de futuras líneas de trabajo.

## 2. Proceso y evolución de módulos y herramientas

### 2.1. Proceso de selección

La Universitat de València (<http://www.uv.es>) es una de las mayores de España. En números, imparte docencia presencial a aproximadamente 50.000 estudiantes, repartidos en 18 centros que pueden cursar hasta 1.500 asignaturas diferentes. En 2003 esta universidad ya contaba con un importante despliegue de infraestructuras de TIC, que daban soporte a las herramientas más habituales. Tanto los profesores como el personal de administración y servicios disponían de un equipo con acceso a Internet (utilizando RedIris). Ello les permitía utilizar el correo electrónico (toda la comunidad universitaria tiene una cuenta en el servidor de la Universidad), crear y alojar sus propias páginas web; e incluso se les daba la posibilidad de acceder o crear foros, y utilizar otras herramientas telemáticas. En cuanto a los estudiantes, disponían de aulas informáticas con acceso a Internet, y de una incipiente red inalámbrica. Además, podían solicitar una cuenta de correo o alojar en el servidor de la universidad sus páginas personales. Por otro lado, en la univer-

sidad se trabajaba con diferentes aplicaciones administrativas y de gestión: matrícula, archivos de datos, contabilidad, etc. Sin embargo, todas estas aplicaciones y herramientas funcionaban de manera aislada, y el uso de las TIC era diferente dependiendo del centro, área de investigación, secretaría o departamento. Todo ello motivó la decisión de integrar las aplicaciones en un único LMS. Además, para que esta integración fuera real, debía incluir en la plataforma a toda la comunidad universitaria. El estudio exhaustivo de las plataformas disponibles (Roig 2003), condujo a que la universidad se uniera al Proyecto .LRN (Essa *et al.* 2005), y personalizara el producto adecuándolo a sus necesidades específicas.

### 2.2. Implementación de aplicaciones preexistentes

La personalización de .LRN en la Universitat de València es Aula Virtual. Este LMS constituye un punto de acceso único para las aplicaciones existentes, y ofrece importantes servicios a la comunidad académica, que se suman a los preexistentes. En particular, proporciona soporte a la enseñanza presencial proporcionando, entre otras, las siguientes herramientas o módulos para cada una de las asignaturas que se imparten: un repositorio de documentos, agenda de eventos, una sección de noticias, la posibilidad de crear foros, correo electrónico y servicios de chat, envío de notificaciones, entrega de tareas, un repositorio de objetos de aprendizaje, una aplicación para crear presentaciones web, weblogs, álbum de fotos y una sección de preguntas frecuentes.

La identificación de usuarios se consigue mediante tres distintas autoridades de autenticación: LDAP, que se autentifica en el servidor de la Universitat de València y permite la utilización de las cuentas que los usuarios ya tienen para el conjunto de los servicios en red de la universidad (contribuyendo así a la integración); local, que se emplea para crear cuentas locales por parte de los profesores, y permite gestionar usuarios restringidos a un curso; y externo, con la que se pueden crear cuentas a usuarios externos para que accedan a las comunidades de apoyo a grupos de investigación.

Otro paso en el camino a la integración con aplicaciones preexistentes se consigue con el uso de paquetes de OpenACS y portlets de .LRN. A modo de ejemplo, podemos citar: la utilización de la parte pública que ofrece la plataforma con la información de centros y asignaturas para llamar a la aplicación de Oferta de Curso Académico; o, en el área privada de un curso, la posibilidad de solicitar información referente a un grupo de docencia concreto. También se realizaron programas batch, escritos en Perl, para la creación de cursos, grupos y usuarios. Éstos se encargan de solicitar a los sistemas de información académica, vía http, la docencia de un profesor y los alumnos matriculados en sus cursos. Con los datos recibidos, se invoca a un paquete realizado en OpenACS, denominado siuadmin, que emplea el API de creación de cursos y usuarios (Moreno *et al.* 2006).

### 2.3. Evolución de módulos y herramientas

Una vez conseguida la implementación e integración del sistema, los usuarios fueron solicitando utilidades y herramientas que motivaron su desarrollo durante los primeros cursos de implantación (2004-2005 y 2005-2006) (Cerverón *et al.* 2006). Entre ellas cabe destacar las siguientes: la traducción de la interfaz al español y valenciano; un sistema de ayuda para estudiantes y profesores; la integración paquete de chat en los cursos de .LRN; la posibilidad de insertar formulas matemáticas escritas tanto en LaTeX como en ASCIIMath (basado en MathML); o el desarrollo dentro de cada curso de .LRN de una ficha personal para cada alumno, que reemplaza a la tradicional ficha

**Lista de pruebas / tareas**

Nº	Etiquetas	Nombre de la Prueba	%	Nota Máxima	Editar	Borrar
1	Exámenes	Final	auto	10		
2	Pruebas	Practica 1	20	10		
3	Pruebas	Practica 2	20	10		
4	Pruebas	Practica 3	10	10		
5	Exámenes	Practica 2	auto	10		
6	Exámenes	Segundo Parcial	auto	10		
7	Trabajos	Trabajo final	auto	10		
			Auto	10.00		

**Resumen de Notas**

Exámenes (10%)	Pruebas (70%)	Trabajos (20%)
Media: 5.90 (7.93)	Media: 5.43 (1.48)	Media: 10.00 (2.00)

Activación	Fecha	Comentario	Nota	Activo	Acción
Final	2008-09-14 11:50		0.00	10	
Primer Parcial	2008-07-18 09:28		5.00	10	
Segundo Parcial	2008-07-19 09:28	Stral	0.00	10	

Figura 1. Ficha del Alumno

**DATAMANAGER PARA ADMINISTRADORES DE CURSO**

**ADMINISTRACIÓN DE CONTENIDOS**

COPIA datos de los portlets de una a otra(s) de las comunidades que se administran o EXPORTAR a un fichero XML.

FAQs Portlets personalizados Foros Noticias Carpetas

**IMPORTACIÓN DE CONTENIDOS**

IMPORTACIÓN DE CONTENIDOS

<input type="checkbox"/>	Tipo	Nombre
<input type="checkbox"/>	Comunidad	FCBY
<input type="checkbox"/>	Comunidad	PIE Farmacia
<input type="checkbox"/>	Comunidad	PIE
<input type="checkbox"/>	Comunidad	Grupo de Usuarios Aula Virtual (GUAV)
<input type="checkbox"/>	Comunidad	PIE Matemáticas
<input type="checkbox"/>	Comunidad	Desarrolladores Aula Virtual
<input type="checkbox"/>	Comunidad	Introducción al Aula Virtual

Figura 2. DataManager

que el profesor solicita a los alumnos en clase (Soler-Lahuerta *et al.* 2005). Esta utilidad centraliza el expediente del alumno (importando las notas evaluadas) con el resto de herramientas de evaluación: cuestionarios y entrega de actividades. El módulo ha tenido mucho éxito, ya que los profesores recibían muchas quejas de los alumnos por la publicación de las notas en los tablones de anuncios. Con la utilización de esta herramienta, el alumno no ve las notas de los compañeros, pero se le muestra un gráfico con el porcentaje de notas. Un ejemplo de la ficha de un alumno se muestra en la Figura 1.

Durante los últimos cursos académicos (2006-2007 y 2007-2008), la rápida evolución de las tecnologías basadas en la web, ha potenciado la introducción de cambios en el software y de nuevas herramientas en el sistema. La propia estructura del sistema de desarrollo OpenACS crea cada módulo como una aplicación independiente, con los parámetros y permisos por defecto habituales, e incorpora el desarrollo basado en capas independientes que facilitan su mantenimiento, presentación, lógica y datos. Los últimos desarrollos realizados, los podemos agrupar atendiendo a su funcionalidad.

### 2.3.1. Herramientas de gestión

Las principales carencias detectadas en las herramientas de gestión eran la imposibilidad de migración de datos entre módulos y el control del consumo de disco por parte de los documentos de cada curso o usuario. La resolución del problema de migración se consiguió con la herramienta DataManager, que permite la importación/exportación de datos en formato XML (W3C) o

**Folder 'Inbox'**

New messages: 3. Total in this folder: 4. Total: 7.

Num	Flags	From	Date	Subject
1		Cubero, Sergio	April 19, 2007 03:09 PM	Examen
2		Cubero, Sergio	April 19, 2007 03:04 PM	Aportes
3		Cubero, Sergio	April 19, 2007 03:04 PM	Notas
4		Cubero, Sergio	December 12, 2006 04:28 PM	Convocatoria de asistencia

De: Sergio Cubero  
 Para:  
 Tema:  
 Cuerpo:

Figura 3. Gestión del Messenger

el copiado de información de un grupo a otro, como se ilustra en la Figura 2.

En cuanto al problema de la ocupación de disco, se resuelve con la aplicación Quota, que permite al administrador de la plataforma establecer un control general de cuotas de almacenamiento para usuarios y grupos. Actualmente la cuota por defecto es de 100 MB por usuario ( $50.000 \text{ usuarios} * 100 = 5 \text{ TB}$ ) en su espacio personal y 500 MB por curso ( $10.000 \text{ cursos} * 500 = 4.5 \text{ TB}$ ). Si algún curso o usuario excede su cuota, ésta se puede ampliar sin tener en cuenta los parámetros generales. Como ejemplo de uso, cabe mencionar que en el curso 2006/2007 se utilizaron en total 90 GB de disco.

### 2.3.2. Herramientas de comunicación

Este tipo de herramientas ha sido desde el principio muy utilizado entre los profesores. Durante los cursos de implantación (2004-2005, 2005-2006) la comunicación se realizaba a través de la creación de listas de distribución y su gestión resultaba relativamente complicada. Actualmente, cada profesor puede enviar correos a los alumnos de sus cursos con mayor inmediatez (un par de clics de ratón). Sin embargo, esta facilidad de uso ha supuesto un aumento significativo de correos masivos. Para evitar este problema y centralizar la comunicación en la plataforma, se creó una herramienta de comunicación interna, llamada Messenger, por su semejanza en uso con el sistema de mensajería instantánea de Microsoft. La Figura 3 muestra el panel de control de esta herramienta.

También los blogs personales constituyen una de las últimas utilidades implementadas. La plataforma disponía de blogs grupales, pero la demanda de este servicio por parte de los usuarios, ha llevado a la adaptación y mejora de la aplicación. Actualmente, cada usuario tiene la posibilidad de crear su propio blog en su portal personal.

### 2.3.3. Herramientas de distribución de contenidos

La plataforma puede mostrar archivos multimedia dentro de una página en HTML o como parte de un curso IMS/SCORM, pero el docente demandaba una manera más sencilla de hacerlo. Ello condujo a la creación del módulo MMPlayer. Utilizando esta herramienta, se reproducen recursos multimedia, servidos tanto por el propio servidor de vídeo Macromedia Flash de la Universitat de València, como por cualquier otro externo. El

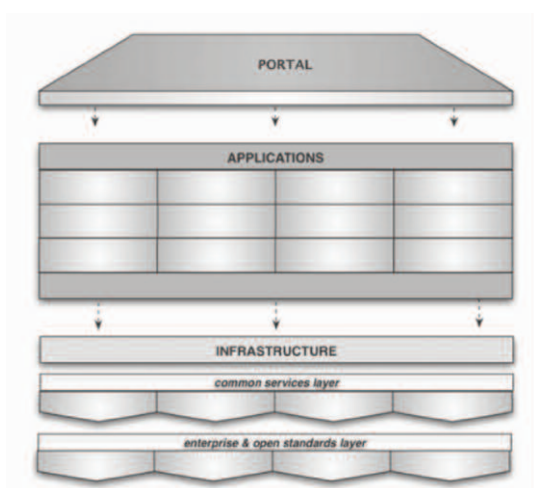


Figura 4. Infraestructura y servicios de la arquitectura de OACS  
Fuente: Greespun 1999

profesor sólo debe subir el archivo multimedia, y el alumno puede reproducirlo una vez ha accedido al curso. Los formatos recomendados de vídeo y audio son flv y mp3, respectivamente, puesto que son el tipo de archivo que sirve en streaming el servidor Macromedia de la universidad. Finalmente, para aumentar el uso de este módulo, se han incorporado las librerías FFmpeg (FFmpeg) que codifican cualquier otro formato a flv. Los recursos multimedia establecidos como públicos, automáticamente se catalogan y se permite su acceso vía web (<http://mmedia.uv.es>).

Por último, citar el enlace desde la plataforma con la enciclopedia libre Wikipedia. Gracias a ello, puede visualizarse la definición de cualquier palabra seleccionada dentro del portal del curso. También cabe citar la introducción de un gestor de bases de datos definibles por los usuarios. La gestión de bases de datos propias resulta muy útil para catalogar referencias bibliográficas, enlaces o bancos de imágenes desde las comunidades o proyectos de investigación que utilizan la plataforma.

### 3. Arquitectura base del sistema

El LMS que se personalizó en la Universitat de València es .LRN, como ya se mencionó en la sección anterior. Es una plataforma que se implementa sobre una arquitectura de Open Source: OpenACS. En esta sección se describe someramente la arquitectura base de Aula Virtual.

A mediados de los 90, Philip Greenspun propone un conjunto de herramientas modulares para dar una respuesta genérica a las necesidades de las comunidades virtuales (Greespun 1999). El conjunto de estas herramientas modulares se agrupó bajo el nombre Arsdigita Community System (ACS) y fueron liberadas bajo la licencia GNU General Public Licence (GPL). La base de datos elegida en un primer momento fue Oracle y el lenguaje de programación, TCL (Tool Command Language). La ar-

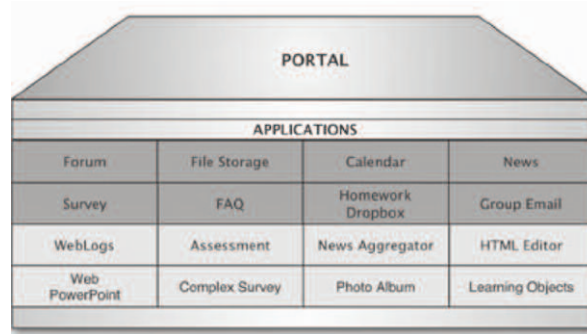


Figura 5. Aplicaciones disponibles en el núcleo de la distribución ACS  
Fuente: Greespun 1999

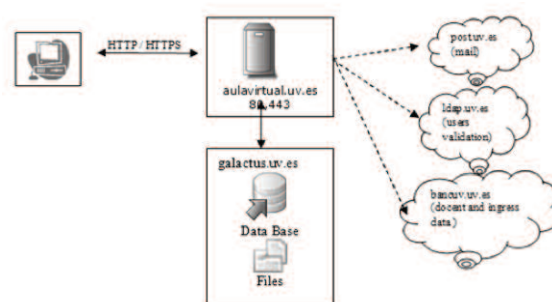


Figura 6. Arquitectura original

quitectura actual no depende de la base de datos relacional utilizada, y ya opera con Oracle o PostgreSQL, con la posibilidad de extender el funcionamiento a otras bases de datos, si es necesario. La última evolución de OpenACS se ha denominado .LRN, y constituye una reestructuración de la arquitectura para mejorar el conjunto de aplicaciones e infraestructura del marco de desarrollo.

La arquitectura de OpenACS (OACS) es conocida como servidor de aplicaciones. Está formada por un conjunto de herramientas avanzadas que permite construir aplicaciones web escalables orientadas a la definición de comunidades de usuarios. La Figura 4 muestra la distribución de componentes y sus funcionalidades. Hay una capa común de servicios básicos o infraestructura, proporcionados por el sistema operativo y la base de datos relacional, donde se almacena la información del sistema. Como sistema operativo se emplea Linux, sistema operativo muy estable, escalable, seguro y que consume pocos recursos. La persistencia se obtiene utilizando la base de datos PostgreSQL (Hillar 2006), que utiliza el llamado Multi-Version Concurrency Control (MVCC) para manejar los accesos a la base de datos.

Las aplicaciones utilizan los servicios del nivel de infraestructura, personalizando las necesidades de los usuarios en diferentes módulos disponibles para su utilización desde la

Capa	S.O.	Procesador	Memoria	Observaciones
Web: Aolserver 4.0.05	Debian GNU/Linux kernel 2.6.3. (31 bits)	Dual AMD Opteron (x1)	4 GB	OpenACS 5.1.4
DB: PostgreSQL 7.4.5	Idem	Idem (x4)	12 GB	

Tabla 1. Configuración de los servidores de producción (2004-2005)

Capa	S.O.	Procesador	Memoria	Observaciones
Web: Aolserver 4.0.5	Debian GNU/Linux kernel 2.6.3. (32 bits)	Dual AMD Opteron (x1)	4 GB	OpenACS 5.1.4
DB: PostgreSQL 7.4.5	Idem	Idem (x4)	12 GB	

Tabla 2. Configuración de los servidores de producción (2005-2006)

Capa	S.O.	Procesador	Memoria	Observaciones
Web: Aolserver 4.0.10	Debian GNU/Linux kernel 2.6.8. (64 bits)	Dual AMD Opteron (x1)	6 GB	OpenACS 5.2 .LRN 2.2
DB: PostgreSQL 8.1	Idem	Idem (x4)	12 GB	

Tabla 3. Configuración de los servidores de producción (2006-2007)

interfaz web. La programación de los módulos se realiza mediante TCL (Tool Command Language), que es un lenguaje de programación interpretado y multiplataforma, orientado a la generación de aplicaciones web. La Figura 5 ilustra tanto las aplicaciones que se pueden instalar, como su organización en la arquitectura. En la capa final está situado el componente portal, que se corresponde con el servidor web. Este componente proporciona la interfaz de funcionamiento e interacción con las aplicaciones anteriores. La tecnología empleada en el servidor web es AOLserver.

#### 4. Cambios y evolución en el hardware

La arquitectura del sistema originalmente se implementó sobre dos servidores con procesadores duales AMD Opteron y sistema operativo Debian GNU/Linux. En uno de ellos, se instaló el servidor web AOLServer junto con la aplicación .LRN; y en el otro, el servidor de base de datos PostgreSQL (7.4) (Moreno y Cerverón 2006). La Tabla 1 resume las características y versiones principales de los productos instalados en los servidores, mientras la Figura 6 ilustra la arquitectura original.

Con esta primera arquitectura, se realizaron pruebas de rendimiento mediante la carga de todos los cursos y usuarios de la universidad. Los resultados reflejaron problemas de rendimiento y escalabilidad. Por ello, durante el primer curso de implantación (2004-2005), se crearon sólo los grupos de docencia de aquellos profesores que lo solicitaron expresamente.

##### 4.1. Curso 2005-2006: primer cluster en la plataforma

La progresiva implantación del LMS, en el caso particular de la Universitat de València, fue provocando un incremento exponencial de los accesos simultáneos. Durante el curso académico

2005-2006, segundo año de implantación, se observó un aumento en la utilización y accesos a la plataforma superior al 100%. Además, se esperaba que dicha tendencia continuara en cursos sucesivos. En contrapartida, se detectaron los problemas de rendimiento y escalabilidad ya expuestos en el apartado anterior.

Se reportaron estos problemas al foro de OpenACS y se decidió utilizar un balanceador CISCO, para repartir la carga entre dos servidores Web, que se instalaron en la plataforma de producción. Ambos servidores conectaban con un único servidor de base de datos para intentar mejorar el rendimiento. Sin embargo, con esta solución se observaban graves problemas de sincronización, con lo que acabó siendo cuestionada y desechada. La configuración, características y versiones de los servidores utilizados, se muestran en la Tabla 2 y Figura 7.

Otro problema detectado fue la imposibilidad del servidor de aplicaciones para gestionar una gran cantidad de memoria (superior a 4 GB). Ello ocasionaba reinicios esporádicos, debidos a un fallo de memoria (memory leak) de la aplicación. Para solucionarlo, se cambió el sistema operativo a la versión de 64 bits. Durante ese curso el número de alumnos conectados todavía era bajo, una cuarta parte del total, debido al criterio de inicialización de usuarios seguido en la universidad. Sin embargo, las encuestas realizadas en los cursos de formación mostraron un alto grado de satisfacción en el uso de la plataforma. Las sugerencias que se recibieron en ese período temporal iban orientadas hacia la petición de nuevas funcionalidades.

Una vez resuelto el problema del rendimiento del servicio web con la implementación del cluster y el balanceo de carga, comenzaron a detectarse nuevos fallos en la aplicación. Entre ellos, cabe destacar el bajo rendimiento de WebDAV, y la comprobación de permisos (>1.200.000) sobre la gran cantidad de

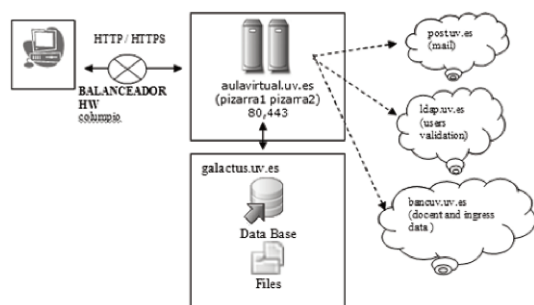


Figura 7. Cluster de dos nodos. Balanceo Hardware (2005-2006)

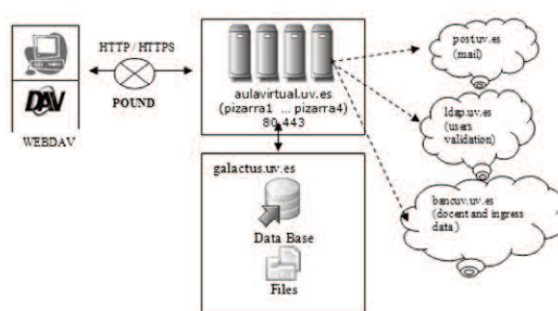


Figura 8. Cluster de cuatro nodos. Balanceo Software (2006-2007)

Capa	S.O.	Procesador	Memoria	Observaciones
Web: Aolserver 4.5	Debian GNU/Linux kernel 2.6.15. (64 bits)	Dual AMD Opteron (x1)	6 GB	OpenACS 5.3.2 .LRN 2.3.0
DB: PostgreSQL 8.2.5	Idem	Idem (x4)	12 GB	

Tabla 4. Configuración de los servidores de producción (2007-2008)

objetos en la base de datos (>3.200.000). Estos errores sucedían en el servidor de base de datos, debido a que algunas consultas ocupaban el 100 % de la CPU durante un período de tiempo excesivo. Finalmente se reescribió la lógica de las consultas, con lo que también el acceso y respuesta desde la base de datos mejoró.

#### 4.2. Curso 2006-2007: crecimiento y estabilidad

En este curso académico se contabilizaron 15.000 estudiantes y 750 profesores como usuarios habituales de la plataforma. Se considera usuario habitual a aquél que establece más de 30 sesiones en un cuatrimestre.

Durante el primer cuatrimestre del curso académico 2006-2007 la configuración del hardware cambió: se incorporó un servidor Apache para la entrega de elementos estáticos, y la versión del servidor de base de datos se actualizó a PostgreSQL 8.1. La Tabla 3 muestra la configuración de los servidores de producción.

Adicionalmente se instaló un cluster de alta disponibilidad y se mejoró el dispositivo de balanceo de carga. Esta nueva arquitectura distribuía la carga de trabajo entre distintas máquinas (Figura 8). Por su parte, el balanceador dota al cluster de una interfaz de entrada única (SSI: Single System Image), y de herramientas para la optimización y seguridad del sistema. La utilización combinada del cluster y el balanceo de carga ha demostrado su utilidad en dos aspectos fundamentalmente. En primer lugar, se mejoró la carga del sistema. Consecuentemente, y en segundo lugar, se permitió a los usuarios acceder con rapidez y comodidad cada vez a un mayor número de aplicaciones (ello se reflejó en las estadísticas de uso). Sin embargo, el principal problema detectado en esta configuración fue la sincronización de los nodos del cluster. Ello llevó a la modificación de algunas partes del código.

Otra modificación realizada en este período fue la habilitación de dos instancias de producción, que permitían el acceso a la información de años anteriores, y se añadieron a la instancia de desarrollo. Durante este curso se contabilizaron hasta 500 sesiones concurrentes, y se desarrollaron los módulos Datamanager, Messenger, Wikipedia y Cuotas, expuestos en la segunda sección.

#### 4.3. Curso 2007-2008: virtualización y disponibilidad

El curso 2007-2008 comenzó con las siguientes mejoras: el número de elementos del cluster se aumentó hasta seis, se virtualizaron los servidores web y de aplicaciones (bajo un entorno Xen) para favorecer y simplificar su mantenimiento y la gestión de nuevos elementos; y se integró en la arquitectura general del sistema un servidor multimedia para potenciar la creación de contenidos en el entorno del LMS. La Tabla 4 y la Figura 9 ilustran la configuración y arquitectura del sistema durante este período académico.

Nótese que en esta arquitectura el dispositivo de balanceo y el maestro del cluster se encuentran implementados en la misma máquina. En consecuencia, si esta máquina cae, el cluster deja de funcionar. Por tanto, aunque la plataforma continúe en funcionamiento, su rendimiento y disponibilidad se ven seriamente afectadas. La solución a este punto crítico pasa por implementar el balanceador en otra máquina, y lograr que sea el balanceador quien reconfigure automáticamente otro maestro del cluster, utilizando los servidores de apoyo. De hecho, se incorporó una solución heart-beat al sistema de balanceo, de modo que otro nodo del cluster toma el rol de dispositivo balanceador en caso de que el principal no responda. Finalmente, en este período se sustituyó el par Apache + Pound por un servidor Nginx.

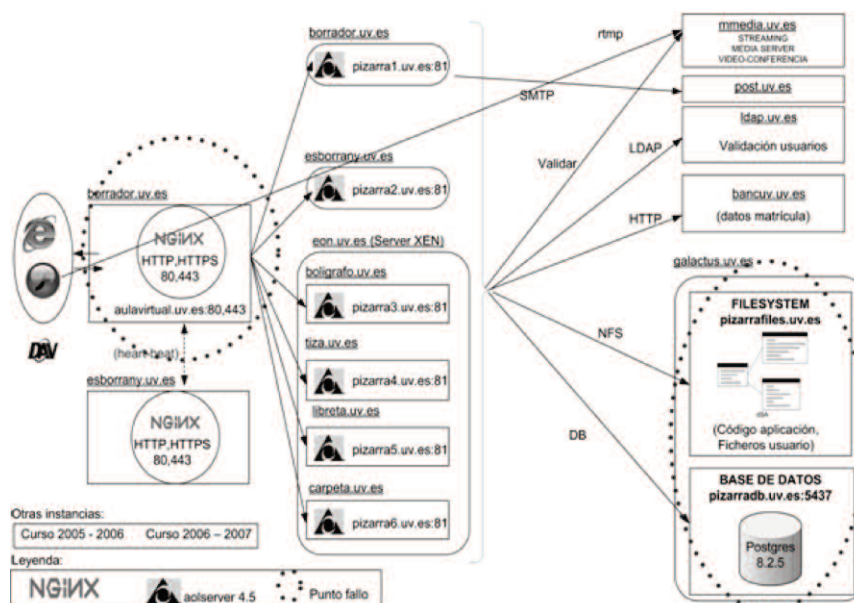


Figura 9. Cluster de seis nodos. Balanceo Software (2007-2008)

#### 4.4. Curso 2008-2009: últimos cambios

Durante el primer cuatrimestre del curso académico 2008-2009, se han integrado nuevas mejoras en el hardware. Podemos mencionar, en primer lugar, la introducción de balanceo hardware, que resulta más robusto y fiable que el uso que se hacía anteriormente (una máquina balanceando por software con un servidor Nginx).

Sin embargo, existen servicios que no se pueden balancear por falta de sincronización entre los elementos del cluster, como el chat. De modo que, la arquitectura actual mantiene ambos tipos de balanceo: en primer lugar, por hardware, con un router de CISCO; y tras ello, por software, utilizando el sistema Nginx para repartir la carga entre dos máquinas. Entre los trabajos pendientes para este segundo cuatrimestre, queda implementar cada dispositivo de balanceo software en una máquina diferente.

En segundo lugar, cabe citar la agrupación de los nodos del cluster a través de la virtualización (utilizando el sistema XEN). Los nuevos elementos virtuales residen en dos grandes máquinas con CPUs de 8 núcleos y 32 GB de RAM. De este modo, la administración del cluster se simplifica, ya que su virtualización las independiza de la máquina física donde residen (por ejemplo, si una máquina física falla, todos los nodos virtuales se pueden copiar en otra máquina sin necesidad de reinstalarlas).

Además, debe puntualizarse que todos los elementos virtuales trabajan sin disco: tanto los datos de usuario como el sistema operativo residen en una red de almacenamiento SAN. Así, la gestión centralizada del almacenamiento permite un uso más eficiente y racional del espacio. Por último, y en tercer lugar, cabe destacar que este tipo de gestión permite replicar los datos en redes similares (en el caso de la Universitat de València en una red del Campus de Tarongers), para aumentar la seguridad y tolerancia a fallos, puesto que permite salvar los datos ante desastres naturales como incendios, inundaciones, etc.

### 5. Conclusiones y líneas futuras

La Universitat de València es una de la mayores en España en la adopción de una plataforma open source ligada a la innovación educativa y a la potenciación del aprendizaje utilizando las nuevas tecnologías, integrándola con las aplicaciones preexistentes y para su uso en toda la comunidad educativa. Su LMS, Aula Virtual, constituye la mayor implementación de .LRN completamente open source (.LRN sobre PostgreSQL). En este aspecto, en la Universitat de València ha resultado remarcable la experiencia con una herramienta de open source, así como el trabajo en colaboración con una amplia comunidad de desarrollo (Moreno-Clari *et al.* 2007).

En este trabajo también ha quedado demostrado que los cambios y evolución del hardware a través de la computación distribuida, han mejorado la calidad en el acceso y la carga del sistema. Gracias a ello, las últimas estadísticas de uso reflejan un importante aumento en la utilización de la herramienta y sus principales módulos.

Asimismo, se le ha dado un alcance mayor al proyecto al integrar comunidades más allá del ámbito de la docencia, de grupos de investigación y órganos institucionales. Sin embargo, aún existen algunos puntos críticos y manifiestamente mejorables en la arquitectura actual.

Como ya ha quedado expuesto, las estadísticas de uso muestran una tendencia exponencialmente creciente en la utilización de funcionalidades (Moreno *et al.* 2008). Actualmente, el mayor punto crítico lo constituye la baja tolerancia a fallos de la base de datos. Aunque se dispone de la información replicada en armarios de discos (SAN) y copias de seguridad, este escenario no garantiza la alta disponibilidad del servidor de base de datos.

Por ello, y en previsión de necesidades futuras, deben estudiarse distintas posibilidades de réplicas de bases de datos para ofrecer servicios de alta disponibilidad (Hillar 2006), y dar soporte a múltiples accesos concurrentes. La réplica de bases de datos PostgreSQL y el balanceo de carga no es un proceso trivial. En la actualidad existen distintas líneas de investigación abiertas, en respuesta a las diferentes necesidades que deben ser cubiertas. Por tanto, para resolver este punto crítico en la arquitectura del LMS de la Universitat de València, en primer lugar, deberán identificarse las verdaderas necesidades del sistema. Aquí, también, se espera que las soluciones que ofrece el software libre permitan mejorar este aspecto.

Asimismo, y continuando con la colaboración internacional, debe hacerse notar que los cambios realizados en la plataforma que puedan aplicarse a otras personalizaciones de .LRN, se han puesto a disposición del resto de miembros de la comunidad openACS y .LRN. Cualquier problema complejo tiene una solución más sencilla si se divide en módulos y diferentes grupos trabajan en paralelo, recogen y comparten sus experiencias e informan de sus resultados a la comunidad de que forman parte. De este modo se consigue que la arquitectura y herramientas de .LRN continúen mejorando progresivamente (Moreno *et al.* 2007).

En esta línea, debemos decir que la colaboración y el trabajo en común con OACS (Hernández 2005), .LRN (.LRN), el proyecto E-LANE (Proyecto E-LANE) y el grupo INNOVA de la UNED (INNOVA), se mantendrá en el futuro inmediato con el fin de compartir experiencias y lograr nuevos objetivos.

### Referencias bibliográficas

- Barajas, Matthew; Gannaway, Gabriel (2007). Implementing e-Learning in the Traditional Higher Education Institution. *Higher Education in Europe*, Vol. 32, Issue 2 & 3, pp. 111 – 119.
- Brooks, Lawrence (2003). How the Attitudes of Instructors, Students, Course Administrators, and Course Designers Affects the Quality of an Online Learning Environment. *Online Journal of Distance Learning Administration*, Vol. 6 (Issue 4).
- Cerverón, Vicente; Moreno, Paloma (2006). «Aula virtual»: an e-learning management platform of Universitat de València development based on Open Code and Collaborative Software. En: *M-ICTE, IV Conferencia Internacional sobre Multimedia y Tecnologías de la Información y Comunicación en Educación, Current Developments in Technology-Assisted Education*, Vol. II, Publisher: FORMATEX, Badajoz.
- Cerverón, Vicente; Moreno, Paloma; Cubero, Sergio; Roig, Darío; Roca, Salvador (2007). Universitat de València's Aula Virtual: a Single Integrated LMS for a University. En Proc.: *IADIS e-Learning 2007 Conference Proceedings (IADIS Digital Library)*, Lisbon.
- Essa, Anthony; Cerverón, Vicente; Blessius, Conrad (2005). .LRN: An Enterprise Open-Source Learning Management System. En Proc. *Educause2005*, Orlando.
- Gabiola, Francisco; García, Antonio; Moreno, Pedro; Sánchez, Julio (2008). Las TIC en la Formación. *Bit*, 169, COIT y AEIT, Junio-Julio 2008, pp. 29-39.
- García-Tobío, José; Bermejo, Manuel; Cebeiro, Blanca; Fernandez-Morante, María Carmen; Rodríguez, María José; Fernández, Marta; Capdevila, Miguel; Doval, María; Gromaz, Mariano (2006). La Red Gallega de e-learning: Una iniciativa del Observatorio gallego de e-learning. *Quaderns digitals*, 42.

- Greespun, Philip (1999). *Philip and Alex's Guide to Web Publishing*. Books : P&A's Guide. Hernández, Rocacl (2005). OpenACS: robust web development framework. En *Proc.: Tcl/Tk 2005 Conference*. Portland, Oregon.
- Hillar, Gabriel (2006). PostgreSQL 8.1.4: robusto y fácil de administrar. *Mundo Linux: Sólo programadores Linux.*, 86, 2006, pp. 52-56.
- Moreno, Paloma; Cerverón, Vicente (2006). Plataforma tecnológica para potenciar los procesos de enseñanza-aprendizaje: desarrollo en la Universitat de València basado en software libre y colaborativo. En *Proc: SIIE 06. VIII Simposio Internacional de informática aplicada a la enseñanza*. 8th International Symposium on Computers in Education, 2006, Vol. II León.
- Moreno, Paloma; Cerverón, Vicente; López, Agustín; Roig, Darío (2007). .LRN Consortium: International Collaboration for Developing a Learning Management System. Experience from the Universitat de València. En *Proc: iNEER- ICEE2007. International Conference on Engineering Education*. [Online]. Coimbra. Available: <http://icee2007.dei.uc.pt/proceedings/index.html>. Fecha de consulta, 10.02.2009.
- Moreno, Paloma; Cerverón, Vicente (2007). Encouraging Blended Learning and ICT Use at Universitat de València to Improve the Learning Process with the .LRN Platform: Best Practices and Tools. En *Proc: EATIS'07*, Algarve, Portugal.
- Moreno, Paloma; Cerverón, Vicente; Arevalillo, Miguel (2008). Análisis del uso universitario de plataformas de gestión del aprendizaje y su relación con la innovación educativa y la calidad docente en el marco del EEES. Resultados en la Universitat de València y procedimientos para la generalización. En *Proc: Conferencia sobre Software Libre en Educación Superior*, Valencia.
- Pallof, Rena M.; Pratt, Keith (2003). *Collaborating Online: Learning Together in Community*. San Francisco: John Wiley, Jossey-Bass.
- Roig García, Darío, 2003. Proyecto de Evaluación de Plataformas de Teleformación para su Implantación en el Ámbito Universitario (1). <http://www.uv.es/ticape/docs/dario/mem-dariov8.pdf>. Fecha de consulta, 10.02.2009.
- Soler-Lahuerta, Francisco; Cubero, Sergio; López, Agustín; Roig, Darío; Roca, Salvador (2005). Desarrollo del módulo fichas en la estructura de la UVEG para la herramienta groupware .LRN. En *Proc.: Foro hispano de .LRN, Congreso de usuarios y desarrolladores de .LRN*, Madrid, 2005.
- Tójar, Juan Carlos; Matas, Antonio (2005). El proceso de innovación educativa en la formación permanente del profesorado universitario: un estudio multicaso. *Revista Española de Pedagogía*, Vol. 63, 232, , pp. 529-552.
- Zurita, Leonard; Ryberg, Theodor, (2005). Towards a Collaborative Approach of Introducing e-Learning in Higher Education Institutions. How Do University Teachers Conceive and React to Transitions to e-Learning? En *Proc: 8th IFIP World Conference on Computers in Education*.

## | Cita recomendada de este artículo

Moreno Clarí, Paloma et al. (2009). Aula Virtual. Evaluación del hardware y mejora de resultados. @tic. revista d'innovació educativa. (nº 2) [Artículos] <http://ojs.uv.es/index.php/attic/article/view/79/101> Fecha de consulta, dd/mm/aa