



## HUMANIDADES Y CIENCIAS SOCIALES

### COMUNICACIONES

# Uso de escritorios remotos en la enseñanza: una experiencia con aplicaciones de código abierto

*Felícísimo, Ángel M.; García-Villanueva, Antonio*

### Resumen

Se presenta una infraestructura informática para el trabajo en las aulas universitarias que supone una solución a los problemas de coste, mantenimiento y renovación del material informático. La propuesta presenta ventajas como: centralizar la administración del sistema, reducir la compra de licencias, garantizar acceso seguro desde dentro y fuera de la red universitaria, permitir el uso eficaz de equipos obsoletos y funcionar mediante acceso remoto con cuentas de usuario seguras, con contraseñas únicas y encriptación de datos, permitiendo el uso de tarjetas inteligentes para la identificación. Se describe un modelo de implementación real en un centro universitario.

**Palabras clave:** laboratorio de enseñanza; escritorios virtuales; computación en la nube

---

Artículo surgido de una experiencia realizada en el Centro Universitario de Mérida, Universidad de Extremadura, para optimizar el uso y mantenimiento de las aulas informáticas; recibido el 30/07/2014; admitido el 18/03/2015.

Autores: Centro Universitario de Mérida, Universidad de Extremadura, (Extremadura, España).

Contacto: [amfeli@unex.es](mailto:amfeli@unex.es)



## **Using Remote Desktops in education: an experience with open source applications**

### **Abstract**

An informatic infrastructure to work in university classrooms is here presented as a solution to problems of cost, maintenance and renewal of computer equipment. The proposal has advantages such as: centralization of the system administration, reduction of the number of software licenses, ensuring the secure access from inside and outside the university network, allowing an efficient use of obsolete equipment, with secure user accounts, unique passwords and data encryption, as well as the use of smart cards for personal identification. A model of actual implementation at a university center is also described.

**Keys Words:** educational laboratory; virtual desktop; cloud computing

## **Uso de áreas de trabalho remotas na educação: uma experiência com aplicações de código aberto**

### **Resumo**

É apresentada uma infraestrutura informática para o trabalho em salas de aula universitárias que representa uma solução para os problemas de custo, manutenção e renovação de material informático. A proposta apresenta vantagens tais como: centralizar a administração do sistema, reduzir a aquisição de licenças, garantir acesso seguro desde dentro e fora da rede da universidade, permitir o uso eficiente de equipamentos obsoletos e funcionar através de acesso remoto com contas de usuário seguras, com senhas únicas e criptografia de dados, permitindo o uso de cartões inteligentes para a identificação. É descrito um modelo de implementação real em um centro universitário.

**Palavras-chave:** laboratório de ensino; ambientes de trabalho virtuais; computação na nuvem

## I. Introducción

Los medios informáticos son hoy imprescindibles y la integración de estas tecnologías en los procesos de enseñanza y aprendizaje ha cambiado profundamente la práctica de la docencia (Duart, 2011). Por este motivo, todos los Centros disponen de aulas para realizar los seminarios, talleres o prácticas donde el uso de ordenadores es necesario. Los problemas que conlleva este proceso han sido analizados desde hace años (Blinco, 2004) pero aún se barajan opciones diversas, cada una con sus ventajas y problemas en función del contexto local.

El primer factor a tener en cuenta es que el coste de estas aulas es elevado, ya que no se trata solamente de dotarlas de ordenadores, aplicaciones y conectividad, algo que puede hacerse en un primer momento con una dotación específica y puntual, sino de realizar operaciones de mantenimiento, renovación y seguridad que suponen un coste añadido.

El mantenimiento, de hacerse correctamente, no solo incluye la actualización del software en cada equipo sino también la gestión de la seguridad del acceso, los espacios en disco comunes e individuales para cada profesor y alumno, las copias de seguridad, la limpieza periódica de las unidades de disco y la salvaguarda del sistema en general ante intrusiones o vandalismo. Dado que los Centros disponen de recursos limitados, es frecuente que solo se realice un mantenimiento mínimo y que, por ejemplo, la gestión de espacios y las copias de seguridad no se contemplen o que las actualizaciones de software, equipo a equipo, se realicen solo ocasionalmente.

Por otra parte, la renovación física de los equipos suele alargarse más allá de la vida media prevista, que ronda los tres o cuatro años (Ramírez Gómez, 2013), y que no tiene normalmente un presupuesto específico ya que el medio plazo no suele contemplarse en los planes de dotación de recursos. Debido a esto, la renovación se hace habitualmente de forma desordenada y aprovechando la disponibilidad casual de recursos económicos.

Las consecuencias de todo lo expuesto son negativas. Por un lado, son comunes las aulas con equipos obsoletos que no son renovados más que cuando ya es evidente su incapacidad para ayudar a la docencia. En los dos o tres cursos anteriores, los equipos habrán sido conservados a pesar de sus evidentes deficiencias, lo que repercute en la calidad de la enseñanza y en la apreciación del alumno sobre medios y métodos docentes. Por otro, es común que los equipos acumulen programas y ficheros de forma caótica, que solo contribuyen a reducir aún más su rendimiento, sin que se realice una supervisión y limpieza sistemáticas por falta de tiempo y de medios.

## II. La búsqueda de alternativas

La opción de renovar periódicamente los ordenadores en todas las aulas con fuertes inversiones y con una esperanza de vida muy limitada no es óptima ni razonable. Es necesario buscar alternativas más eficientes para mantener actualizadas las aulas, más allá de la compra continua de nuevo material, teniendo en cuenta que la demanda docente, tanto de profesores como de alumnos, es disponer de equipos con prestaciones suficientes gestionado de forma que su uso no suponga problemas sino que, al contrario, provea soluciones. Por ello, las alternativas deben cumplir con condiciones como: 1) reducir las inversiones y los gastos de mantenimiento; 2) aligerar y optimizar la gestión informática de las aulas; y 3) asegurar unas prestaciones suficientes y estables año tras año.

En este contexto, realizamos un proyecto en el año 2012 cuyo objetivo fue implementar un sistema en algunas aulas informáticas del Centro Universitario de Mérida (Universidad de Extremadura) que contribuyera a solucionar los problemas anteriormente mencionados usando tecnologías de bajo coste y de reducido mantenimiento. En este artículo se describe ese proyecto y se propone una alternativa a las aulas convencionales donde se consigue: 1) reducir drásticamente los costes, tanto de renovación como de mantenimiento, 2) optimizar la gestión de seguridad, espacios personales, actualizaciones, copias de seguridad, etc. y 3) usar eficazmente equipos obsoletos o de bajas prestaciones alargando significativamente la vida útil de los mismos.

## III. Objetivos y diseño general

Los objetivos del proyecto mencionado y que exponemos en este trabajo fueron los siguientes:

- Diseñar, implementar y ensayar en condiciones reales una solución tecnológica que permita utilizar los equipos existentes (incluso obsoletos) para ejecutar eficazmente las aplicaciones informáticas necesarias en la docencia de cada asignatura con independencia de sus requerimientos de cálculo y gráficos.

- Diseñar y aplicar un protocolo de gestión normalizado para garantizar los servicios básicos a profesores y alumnos: seguridad, gestión de espacios personales, paquetes de actualización de aplicaciones, copias de seguridad, etc.

- Lograr que el sistema sea accesible por alumnos y profesores tanto desde el aula como desde su casa, permitiendo la interacción y el trabajo con independencia del horario lectivo y de la presencia física en el aula.

-Conseguir que se ejecuten de forma nativa tanto aplicaciones Windows como GNU/Linux de forma transparente para el usuario.

-Conseguir un funcionamiento continuo y eficaz de las aulas a un coste muy inferior a las soluciones tradicionales.

Las líneas básicas del proyecto consistieron en el diseño e implementación en el aula de una solución tecnológica de virtualización (Lunsford, 2009), basada en escritorios virtuales en los ordenadores del aula conectados mediante la red académica a un servidor de aplicaciones remoto, usando una infraestructura de virtualización específica, todo ello basado, siempre que sea posible, en software libre. Como se verá a continuación, este esquema es muy diferente del convencional.

### III.1. Conceptos básicos

Se denomina escritorio virtual a un sistema donde el usuario usa su dispositivo para conectarse a un sistema remoto donde reside realmente su entorno de trabajo. El sistema remoto está formado esencialmente por dos partes con funciones diferentes: a) el servidor de aplicaciones, que es un conjunto de máquinas virtuales (una o más) que permiten que el usuario ejecute sus aplicaciones y almacene su información, y b) los equipos cliente, que son dispositivos (ordenadores, tabletas...) desde los que se accede a los servicios mediante una conexión de red, usando el escritorio virtual como interfaz.

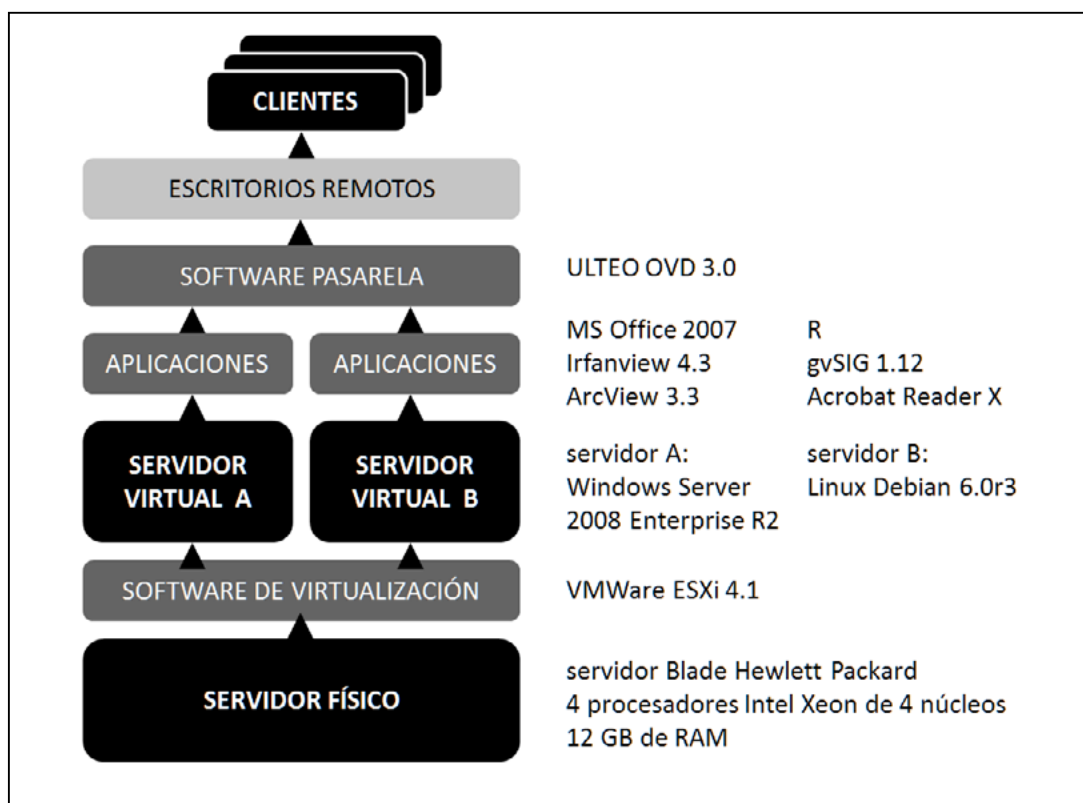
En este esquema básico se introduce una pieza más: el software que hace de pasarela o traductor entre las máquinas virtuales y los dispositivos cliente. Este software genera los escritorios virtuales haciendo que se muestren en los clientes de forma transparente y gestiona los accesos, usuarios, recursos de memoria, etc. Algunas de estas aplicaciones pasarela pueden manejar servidores con diferentes sistemas operativos (por ejemplo, Windows y Linux), de forma que el cliente ve todas las aplicaciones disponibles en su escritorio pero desconoce bajo qué sistema operativo está funcionando cada una de ellas.

De forma general, una infraestructura de virtualización está formada, por tanto, por equipos físicos (servidores) y por el software encargado de la virtualización que incluye las aplicaciones que generan las máquinas virtuales, las aplicaciones que se ejecutan en ellas, la que se usa en el cliente para la conexión y la pasarela que hace de «traductor» entre cliente y servidores gestionando el sistema de accesos (**Figura 1**).

El uso de una infraestructura de virtualización permite acceder a recursos que no están instalados en los equipos cliente y que pueden estar funcionando bajo sistemas operativos diferentes. Asimismo, los equipos cliente pueden

ser reducidos al mínimo ya que solo es necesario tener instalado el software para la conexión por red al servidor: un navegador de internet.

La propuesta que realizamos en este trabajo es el uso de este tipo de infraestructuras en las aulas, donde ordenadores de sobremesa, portátiles o tabletas actuarían de clientes, se conectarían a un servidor remoto que, tras la acreditación mediante contraseña, lanzaría su escritorio personal (**Figura 1**).



**FIGURA 1.** Esquema de la infraestructura de virtualización utilizada

### III.2. Ventajas

Las infraestructuras de virtualización son ampliamente utilizadas buscando una mayor eficacia y economía (Németh, 2012; Gaspar, 2008) pero lógicamente presentan tanto ventajas como problemas. Las principales ventajas de este sistema son las siguientes:

Toda la administración del sistema está centralizada lo que reduce el coste del mantenimiento. Cada aplicación se instala y actualiza en un solo servidor y no en cada uno de los ordenadores cliente (que pueden ser cientos en una universidad).

Para la mayoría del software sería necesario disponer de una sola licencia ya que si dos usuarios desean usar la misma aplicación, éstas se sirven como

instancias (ejecución repetida de una misma aplicación sobre el sistema), lo que reduce el coste de compra y mantenimiento del software.

El acceso desde los clientes puede realizarse mediante aplicaciones específicas o mediante navegadores web convencionales. Este acceso es seguro desde cualquier lugar, incluso desde el exterior a las redes académicas, ya que todo el tráfico de datos está cifrado.

Todo el cálculo se realiza en el servidor, por lo que es posible arrancar un proceso, desconectarse posteriormente sin que dicho proceso se interrumpa, y volver a conectarse en cualquier momento para acceder a los resultados.

Pueden configurarse carpetas de almacenamiento de dos tipos: comunes (idóneos para la publicación de contenidos a compartir por todos los alumnos) y por usuario o por grupos de usuarios (adecuados para contenido específico de temas o asignaturas).

Los clientes pueden ser equipos de gama baja, ya que la necesidad de recursos se limita al software de acceso a internet. Por el mismo motivo, la vida útil de los equipos puede ampliarse bastante más allá de lo habitual.

Existe una mayor seguridad y comodidad en la gestión de los ficheros y datos ya que todos los espacios tienen sistemas de copia de seguridad centralizados que residen en la misma infraestructura lo que, además, simplifica la custodia.

Las máquinas virtuales que residen en el servidor pueden recuperarse y reinstalarse en cuestión de minutos si se produce un problema.

Los equipos cliente pueden ser de muy diferente naturaleza (sistema operativo, arquitectura, etc.): ordenadores de sobremesa o portátiles, tabletas, teléfonos... ya que solo se necesita acceso a internet y un navegador estándar.

Los escritorios incluyen capacidades avanzadas como soporte multimedia, USB locales (discos portátiles o pendrives) e impresoras.

El acceso remoto se realiza mediante cuentas de usuario seguras, con contraseñas únicas y encriptación de datos. También se pueden realizar mediante el uso de tarjetas inteligentes (carnet universitario, por ejemplo).

### **III.3. Inconvenientes**

Los principales inconvenientes de este tipo de infraestructura incluyen la existencia de aplicaciones que no permiten su ejecución mediante escritorios virtuales. Por otra parte, dado que todo está centralizado, es necesario que el servidor disponga de los recursos suficientes para atender a los accesos concurrentes que se produzcan. En este sentido, es adecuado planificar los horarios de las clases (máximo número de accesos que pueden producirse) y de la ejecución de las tareas de prácticas o en casa para que exista una

distribución lo más equilibrada posible de los accesos. Asimismo, el funcionamiento del sistema depende de la disponibilidad permanente del servidor y de la infraestructura de comunicaciones, ya que los ordenadores cliente no son autosuficientes. Finalmente, si el usuario quiere usar este sistema desde su residencia debe disponer de una conexión adecuada para conseguir latencias reducidas. En función de las pruebas realizadas en nuestro proyecto, una conexión desde dispositivos 3G es suficiente y cualquiera por cable es óptima.

#### **IV. La infraestructura de virtualización en la práctica**

La infraestructura de virtualización del proyecto que exponemos en este trabajo fue implementada en el Centro Universitario de Mérida durante el curso académico 2011-2012. Aunque se mencionan componentes y aplicaciones concretas, ambos pueden variar ampliamente, razón por la cual lo más importante es el esquema general que se presenta. No se han encontrado antecedentes de un proyecto con estas características (Wang, 2012) por lo que dicho sistema no habría sido implementado en un entorno educativo.

##### **IV.1. El hardware**

En los dispositivos físicos se incluyen el servidor, la infraestructura de comunicaciones y los clientes. En el sistema propuesto, el servidor es el único componente con ciertas exigencias, ya que debe responder a las demandas de todos los usuarios que concurren en cada momento. En este proyecto se utilizó un servidor Blade de Hewlett Packard del cual se reservaron como recursos dedicados al proyecto 4 procesadores Intel Xeon de 4 núcleos cada uno y 12 MB de caché L3 con 12 GB de RAM. Se utilizó paralelamente un sistema de almacenamiento SAN de fibra óptica con una capacidad de 120 GB y sistema automático de copia de seguridad diaria. Este modelo concreto de servidor puede ser sustituido por cualquier otro con prestaciones suficientes.

##### **IV.2. El software de virtualización**

###### **IV.2.1. Máquinas virtuales**

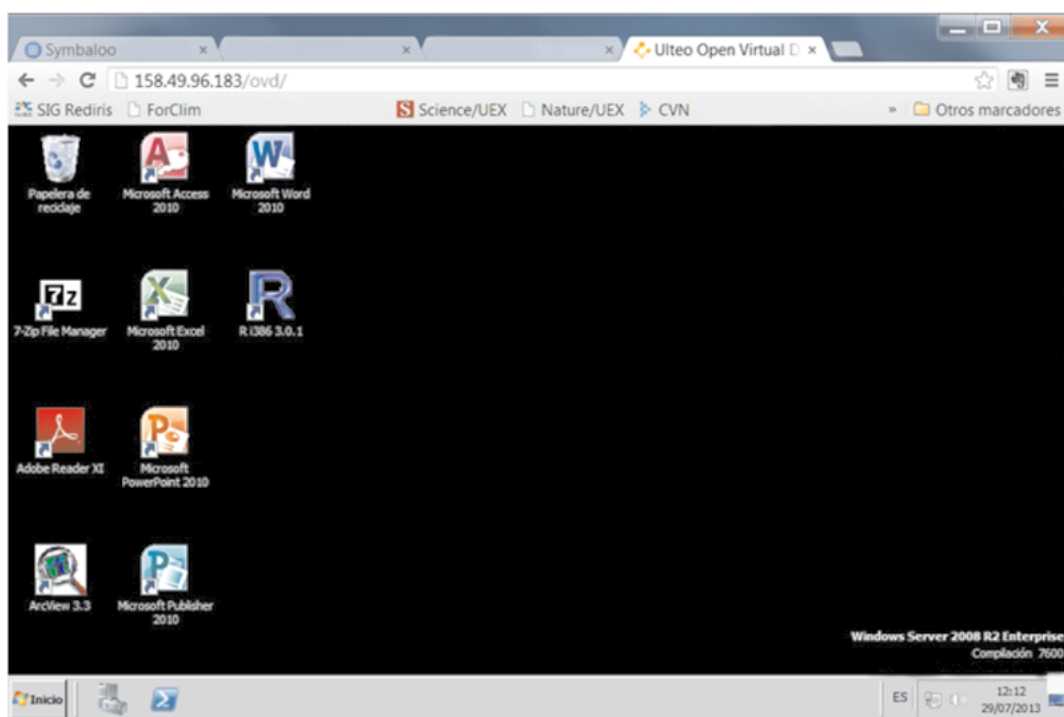
Las aplicaciones no se instalaron directamente en el servidor físico sino, como se comentó antes, en máquinas virtuales (MV) alojadas en él. Este método no es estrictamente necesario pero se decidió por la necesidad de servir aplicaciones bajo los sistemas operativos Windows y Linux y por razones como la seguridad y la facilidad de recuperar las MV en caso de fallo. La creación de las MV para cada sistema operativo se realizó mediante el software de virtualización gratuito VMware ESXi 4.1 (<http://www.vmware.com/>).



VMware se ejecuta en los servidores físicos y se encarga de crear, administrar y ejecutar la infraestructura de mv, así como de distribuir la carga: si dos mv se están ejecutando sobre un mismo servidor físico y lo saturan, VMware se encarga automáticamente de mover una de ellas a otro servidor desocupado para impedir una situación de bloqueo.

#### IV.2.2. Software de escritorio remoto

Ulteo ovd (Open Virtual Desktop, <http://www.ulteo.com/>) es el software que se utilizó para desplegar el sistema de escritorios remotos y que, como se mencionó anteriormente, hace de pasarela o traductor entre las máquinas virtuales y los dispositivos cliente. Ulteo es realmente la parte más importante de la configuración que se propone en este trabajo. Se trata de una aplicación de código abierto (GPL 2.0) y gratuita. El acceso a las aplicaciones se puede realizar mediante un cliente propio de Ulteo o mediante un navegador convencional (Mozilla Firefox o Chrome, por ejemplo) con soporte para Java.



**FIGURA 2.** Aspecto del escritorio en el navegador con los iconos de acceso a las aplicaciones

Este software permite servir conjuntamente aplicaciones bajo Windows o bajo Linux de forma transparente para el alumno, que ve en su navegador un escritorio completo con todas las aplicaciones de ambos entornos (**Figura 2**).

Dispone también carpetas locales, impresoras y carpetas compartidas desde un servidor de ficheros. El alumno trabaja usando una carpeta propia almacenada en uno de los servidores y puede copiar su trabajo en un dispositivo local. Las carpetas remotas están protegidas por el usuario/contraseña que se introduce al iniciar sesión en Ulteo y se configuró además un sistema de copias de seguridad diarias.

### **IV.2.3. Infraestructura de comunicaciones**

La infraestructura de comunicaciones se probó en dos entornos: 1) una red local Ethernet (100 MB/s) y 2) una red Wifi para la conexión inalámbrica (estándar 802.11g a 54 MB/s). La primera se usa por los ordenadores de sobremesa mientras que la segunda lo es para la conexión de ordenadores portátiles y tabletas.

En el aula donde se realizaron las pruebas, se usaron como clientes ordenadores de sobremesa con el navegador Mozilla Firefox para conectarse a la plataforma a través de la red local. Los ordenadores disponían de procesadores Intel i3 (2,4 GHz) y 4 GB de RAM. Una parte de los alumnos se conectó mediante ordenadores portátiles propios con configuraciones muy diferentes. Complementariamente, las tareas propuestas en las asignaturas fueron realizadas total o parcialmente desde fuera de la red universitaria, con condiciones de acceso también muy variables y no controlables por nosotros.

### **IV.2.4. Las aplicaciones**

En nuestra experiencia, nos servimos de varias asignaturas de distintas disciplinas: Geomática y Topografía, Informática y Telemática. Esta diversidad hizo posible medir la compatibilidad y el rendimiento de programas muy diferentes al ser ejecutados a través del sistema. Entre ellos están los siguientes:

- Sobre Windows: ms Word (procesador de textos), ms Excel (hoja de cálculo), ms Powerpoint (presentaciones con diapositivas), Irfanview (visor y editor de imágenes), Arcview (Sistema de Información Geográfica).
- Sobre GNU/Linux: R (software estadístico), gvSIG (Sistema de Información Geográfica), Acrobat Reader (lector de documentos PDF).

Independientemente de estas aplicaciones, los alumnos podían instalar las que necesitaran en cada momento ya que dispusieron de permisos de administración en los equipos (ver más adelante).

Como ejemplo de implementación, comentamos sintéticamente las operaciones necesarias para que una aplicación (el sig ArcView, como ejemplo) funcione correctamente en este entorno.

**Instalación:** se realiza una sola vez desde un CD convencional mediante una unidad externa sobre la máquina virtual con el sistema operativo adecuado (Windows con esta aplicación).

**Configuración:** en esta aplicación se limita a añadir algunos módulos complementarios necesarios para la asignatura (proceso de ciertos modelos de datos, manejo de información 3D...). En cualquier caso, la configuración sería exactamente igual que la requerida en un ordenador individual.

**Operación:** el usuario solo debe entrar en la web correspondiente mediante un navegador e identificarse mediante contraseña tras lo cual el icono de acceso directo les aparecerá automáticamente en su escritorio personal.

**Administración:** instalada la aplicación, las operaciones de administración son determinar los usuarios que tienen acceso a la aplicación (gestionable mediante grupos), definir algunos parámetros como los permisos (normalmente ejecución) o el tipo de escritorio al que el usuario va tener acceso, y especificar los recursos asociados en cuanto a espacio de almacenamiento disponible. El espacio disponible estará habitualmente en un volumen de discos externos por lo que debe configurarse la forma de acceso y los permisos sobre diferentes carpetas, normalmente lectura y escritura para la personal y solo lectura para el acceso a documentos o material de prácticas.

**Mantenimiento:** hay dos niveles de mantenimiento que son generales para todas las aplicaciones. El primero es una monitorización continua para detectar caídas del sistema y solucionarlas en un plazo breve; el segundo es la actualización ante nuevas versiones del software. Respecto al primero, ha habido algunas pérdidas de configuración de usuarios debidos a fallos que ya han sido corregidos en versiones posteriores de Ulteo. Respecto al segundo nivel, es necesario actualizar software de la infraestructura con nuevas correcciones o funcionalidades y actualizar el software básico (actualizaciones en el navegador) en los dispositivos de acceso (ordenadores del aula, personales o celulares). Sólo en el primer caso depende del Centro docente y estas actualizaciones se realizan exclusivamente al principio de cada semestre ya que los cursos académicos se organizan en dos semestres que implican cambio de asignaturas y por consiguiente en el software.

Creemos interesante comentar que las instalaciones de todas las aplicaciones se realizan una única vez en un entorno limpio, del cual se graba una imagen que se almacena en un dispositivo de red accesible por el servidor. Existe una imagen de cada máquina virtual con sistema operativo diferente (en nuestro caso solo hay dos: Linux y Windows).

## V. Reutilización de hardware

Como se ha comentado antes, la parte del cliente es la que permite al usuario interactuar con su escritorio virtual mediante una tableta, un ordenador o un teléfono. En el trabajo en el aula, y dado que se trataba de asignaturas reales donde no había tiempo para muchos ensayos, se utilizaron los ordenadores de sobremesa ya mencionados y los portátiles de los alumnos cuando estos lo prefirieron.

Complementariamente, se probaron opciones alternativas de clientes. Una de ellas fueron ordenadores en desuso (de hecho, apartados para reciclaje) con procesadores AMD Athlon a 900 MHz, 512 MB RAM y sin disco duro. Este tipo de clientes puede usarse si se configura una opción para que cargue el software necesario a través de la red en el momento de arrancar. La configuración funcionó con la estrategia de crear una imagen *diskless* (sin disco) de 280 MB basada en Linux en el servidor remoto. Los ordenadores arrancan con un entorno mínimo que carga dicha imagen desde la red, la ubica en la memoria (ya que no existe disco) y lanza automáticamente el navegador Mozilla Firefox.

La última opción fue usar la imagen *diskless* pero sobre *thin clients*, ordenadores diseñados para funcionar específicamente en red y, por tanto, reducidos a la mínima expresión tanto en hardware como en tamaño. Estos dispositivos están formados por hardware moderno y de altas prestaciones aunque carecen de discos internos y lectores de CD/DVD. Su ventaja es su reducido tamaño y su mayor problema es que aún tiene un precio alto como para ser considerados una opción competitiva respecto a los ordenadores convencionales.

## VI. Opciones para el mantenimiento del aula

Como hemos comentado con anterioridad, este documento trata de aportar ideas para el mantenimiento y administración de las aulas informáticas. Hasta ahora se ha hablado de la solución para trabajar en forma remota desde equipos cliente, algo que cambia profundamente el enfoque de las aplicaciones docentes y tiene repercusiones positivas sobre el coste y la accesibilidad a las mismas. Para el resto de las tareas existen algunas soluciones basadas tanto en software libre como propietario, dependiendo del sistema operativo utilizado. A continuación se mencionan algunas opciones potencialmente útiles para aulas de centros docentes.

Se ha comentado anteriormente que el alumno posee control casi absoluto sobre el ordenador del aula. En efecto, en nuestro ensayo se le conceden

privilegios de administrador con lo cual, entre el inicio y el cierre de la sesión, los contenidos del ordenador pueden ser muy diferentes (para bien o para mal). La configuración es tan poco restrictiva que los ordenadores carecen de contraseña y tampoco tienen programas antivirus o cortafuegos. ¿Cómo puede mantenerse un aula operativa en estas condiciones?

La solución ha sido intentar cumplir con las condiciones siguientes: 1) tener cada ordenador limpio y con una instalación completa de las aplicaciones necesarias; 2) permitir a cualquier usuario trabajar sin restricciones de privilegios; y 3) asegurar que cuando el ordenador se reinicie vuelva al estado original y el siguiente usuario obtenga un sistema limpio y optimizado sin rastro de las manipulaciones del anterior usuario.

La configuración de un ordenador limpio y con una instalación puede realizarse para cada aparato o cargando una imagen del disco duro a través de la red. Cuando se trata de un aula (o varias), la opción adecuada es la segunda: se crea una instalación completa en un único ordenador, se crea una imagen del disco y se carga esta imagen en el resto de los ordenadores a través de la red. En el ensayo hemos utilizado Clonezilla (<http://clonezilla.org/>), una aplicación libre (licencia GPL) basada en GNU/Linux, que se presenta tanto en formato LiveCD (para una sola máquina) como de software de servidor, que es el de interés en nuestro caso. El objetivo de esta aplicación es realizar una imagen de un disco duro con la instalación completa y limpia y clonarla por red en múltiples ordenadores simultáneamente. La imagen deberá reconstruirse periódicamente cuando existan actualizaciones del software que tengan relevancia y posteriormente recargarse en los ordenadores. La operación se realiza de forma remota y centralizada (solo es necesario que los ordenadores estén encendidos) y, con este método, la carga y configuración de un aula se puede realizar en cuestión de minutos.

Por otra parte, la autorización a cualquier usuario para trabajar sin restricciones supone normalmente la instalación de aplicaciones innecesarias cuando no peligrosas, la aparición de virus, spyware y otros problemas que acaban repercutiendo en la seguridad y eficacia del sistema. Una solución es usar un software que restaure el ordenador a la configuración original cada vez que se arranca. En nuestro ensayo, se utilizó con ese objetivo la aplicación Deep Freeze, comercial y desarrollada por Faronics (<http://www.faronics.com/>) para sistemas basados en Windows o Mac os x. Existe una opción similar llamada Lethe (<http://sourceforge.net/projects/lethe/>) con la ventaja de ser gratuita y de código abierto y con el problema de ser solo funcional en un entorno Linux.

La idea subyacente a este tipo de aplicaciones es «congelar» una partición del disco donde reside la configuración original. A esta partición no se

puede acceder más que en modo lectura. El alumno puede realizar cualquier instalación nueva u otra operación pero las modificaciones son ubicadas en zonas del disco no «congeladas» (no protegidas) que son eliminadas cuando el equipo se reinicia. Por ese motivo, esta estrategia es idónea para probar configuraciones potencialmente inestables o de riesgo ya que con solo apagar el ordenador se restablece la configuración limpia.

## VIII. Resultados

El ejemplo más interesante lo brindó la aplicación ArcView GIS (ESRI, <http://www.esri.com/>), un sistema de información geográfica que combina dos características limitantes: cálculo y renderizado (presentación de imágenes o gráficos complejos en la pantalla). Asimismo, las sesiones de prácticas hacían que todos los alumnos del aula (un máximo de 20) accedieran simultáneamente al servidor con peticiones de cálculo intensivo. El resto de aplicaciones no es tan exigente y su uso estuvo más repartido en el tiempo (redacción de trabajos, preparación de figuras, cálculo de estadísticos...).

Tanto con los ordenadores de sobremesa conectados por cable como con los portátiles, conectados de forma inalámbrica, y con 20 alumnos trabajando simultáneamente, la latencia se mantuvo por debajo de 0.5 segundos y aun así, este valor se alcanzó solo puntualmente. Este tiempo permite un trabajo cómodo y con sensaciones prácticamente iguales a las experimentadas en el trabajo en modo local (o mejores, recordemos que los servidores virtuales son ordenadores «limpios» y optimizados).

Con los equipos obsoletos conectados por cable no hubo tampoco problemas de latencia. En este caso, la carga inicial es algo más pesada y puede demorar el arranque del equipo unos dos minutos pero ocurre solamente en la puesta en marcha. Luego, las operaciones son rápidas ya que el sistema operativo y software complementario está íntegramente cargado en la RAM. El único problema de cierta importancia con estos equipos fue la reducida calidad gráfica ya que se usaron monitores CRT con resolución y profundidad de color de hace varios años. No se observó falta de rendimiento de las tarjetas gráficas, también obsoletas.

En el caso de los *thin clients* no hubo problemas, ya que se trata de dispositivos modernos, de buen rendimiento y optimizados para el trabajo en red. Un aula formada por este tipo de aparatos es mucho más eficiente energéticamente y ocupa mucho menos espacio pero, como ya se ha comentado, su coste es aún alto en comparación con equipos convencionales, más versátiles. En el caso de implantar un aula nueva, esta opción será la más adecuada

en cuanto ese coste se reduzca al menos un 40%, algo previsible en pocos años.

Los resultados obtenidos muestran que este sistema cumple con los objetivos propuestos: el software de virtualización (VMWare) y el que actúa de pasarela (Ulteo oVD) son gratuitos en la versión que hemos utilizado. La implantación necesita personal con formación pero no más especializado que para mantener el sistema institucional de un Centro educativo. El mantenimiento se realiza de forma remota por lo que su encargado puede atender varios sistemas. Finalmente, la gestión del sistema no fue exigente y los eventuales fallos se debieron a algunos *bugs* de Ulteo oVD que son recuperables y que en su mayoría fueron corregidos en versiones posteriores. Es conveniente recordar que pueden configurarse sistemas sin servidores virtuales y sobre un único sistema operativo, lo cual simplifica la instalación que, de por sí, no es especialmente compleja.

Existe una parte no gratuita en el sistema que debe ser considerada: si queremos servir aplicaciones bajo Windows, el servidor de Ulteo debe funcionar sobre Windows Server 2008, que necesita licencia. Lógicamente, si las aplicaciones se ejecutan bajo Linux este requerimiento no existe. En este sentido, es muy ventajoso realizar una migración hacia una configuración completamente basada en Linux, por ejemplo, en Apache OpenOffice (<http://www.openoffice.org/>) para las aplicaciones de ofimática, VLC (<http://www.videolan.org/>) para video, Gimp (<http://www.gimp.org/>) para proceso de imágenes, etc.

Como resultado de esta experiencia, se ha mostrado que los dos puntos clave para un buen funcionamiento en un aula son: 1) la conexión por cable o inalámbrica y 2) la capacidad de respuesta del servidor ante accesos concurrentes con demanda de cálculo masivo. En nuestro caso, los accesos simultáneos fueron 20 como máximo pero con una demanda muy intensa de cálculo. La web de Ulteo propone disponer de 1 GB de RAM para cada 20 usuarios concurrentes aunque siempre es preferible una dotación más generosa. La velocidad de las conexiones no se mostró nunca como un factor limitante, funcionando incluso aceptablemente en un ensayo realizado con una conexión 3G externa a la red universitaria (3 MB/s aproximadamente).

Respecto a la gestión del aula, en nuestro ensayo con *Deep Freeze*, el sistema funcionó perfectamente manteniendo los ordenadores en perfecto estado. Fue necesario actualizarlos en tres ocasiones a lo largo del curso, operaciones que, incluyendo la creación de la nueva imagen, se realizaron en unas dos horas. El único inconveniente de este sistema de mantenimiento es que si los alumnos trabajan en local (innecesario si usan los escritorios

remotos), deben acordarse de usar un disco externo o copiar sus trabajos en otro lugar (su espacio remoto, por ejemplo, o un pendrive) antes de cerrar la sesión.

## **IX. Conclusiones**

Es difícil, sino imposible, encontrar hoy una universidad que no haya adoptado soluciones de virtualización pero bajo esta palabra se agrupan tecnologías y modelos organizativos variados (Willoughby, 2004). Así, mientras la adopción de plataformas como Moodle es ya general, el trabajo mediante escritorios virtuales en las aulas aún no se ha establecido. En este trabajo proponemos una infraestructura probada que cumple los objetivos especificados en el apartado correspondiente.

El diseño para la instalación y mantenimiento de las aulas informáticas que se ha propuesto en este artículo puede parecer complejo por incluir dispositivos no habituales en la informática personal pero se ha mostrado muy eficaz en cuanto a costes y funcionalidad. Los alumnos y profesores se adaptaron bien al sistema ya que es prácticamente transparente y recuerda también al modo de trabajo «en la nube» que ya está muy difundido en el trabajo personal.

La experiencia en el Centro Universitario de Mérida se realizó exclusivamente durante un semestre (medio curso académico en España). A pesar de los excelentes resultados, no fue posible continuarla y extenderla como parecía obvio hacer. Se presentó un proyecto más ambicioso incluyendo varios laboratorios y asignaturas de ingeniería (Felicísimo, 2012) pero no fue considerado para su realización. Consideramos oportuno comentar que, independiente de las cuestiones técnicas, es necesario vencer reticencias a cambiar los protocolos y calendarios del personal que debe implementar y mantener el sistema. Estos cambios implican una mayor eficacia pero también un esfuerzo inicial para las instalaciones y diseño de las operaciones de mantenimiento y actualización. En conclusión, aunque técnicamente la solución no tiene factores en contra, en la práctica es necesario contar con un contexto más amplio donde cuestiones de inercia y resistencia al cambio pueden retrasar la implementación.

Existen cuestiones que no se han tratado aquí, como la gestión de espacios personales o colectivos, o la realización de copias de seguridad automáticas. Estas cuestiones son más técnicas y no específicas de la solución adoptada por lo que nos ha parecido preferible obviarlas para no extender demasiado el trabajo. En cualquier caso, la solución basada en escritorios remotos nos parece una opción muy interesante para cumplir con los objetivos planteados.



Todo el software necesario y mencionado en este artículo es gratuito con la única excepción de Windows Server 2008 (necesario si se desea servir aplicaciones bajo Windows pero no si se usan aplicaciones bajo Linux) y *Deep Freeze* (que tiene en Lethe una alternativa gratuita si se usa Linux). Está claro que debe hacerse una inversión adecuada en un servidor con prestaciones suficientes para atender la demanda, pero este coste se puede considerar amortizable en poco tiempo teniendo en cuenta el ahorro en licencias y la extensión en la vida útil de los equipos de sobremesa.

## Referencias bibliográficas

- BLINCO, K.; MASON, J.; MCLEAN, N.; WILSON, S. (2004). *Trends and Issues in E-learning Infrastructure Development & Centre for Educational Technology and Interoperability*. Bolton, UK: Department of Education, Science and Training (Australia).
- DUART, J. M. (2011). La Red en los procesos de enseñanza de la Universidad, en: *Comunicar*, 37:10-13.
- FELICÍSIMO, A.M. (2012). *Optimización de medios docentes mediante servicios en la nube: implementación de escritorios virtuales de código abierto sobre servidores remotos*. Convocatoria de ayudas para la mejora de la calidad docente. Universidad de Extremadura, España.
- GASPAR, A.; LANGECIN, S.; ARMITAGE, W.; SEKAR, R.; DANIELS, T. (2008). The role of virtualization in computing education. (pp.131-132). En: *SIGCSE '08 Proceedings of the 39th SIGCSE technical symposium on Computer science education*. New York, USA: ACM.
- LUNSFORD, D.L. (2009). Virtualization technologies in information systems education, en: *Journal of Information Systems Education*, 20: 339-348.
- NÉMETH, A. (2012). *Computing resource optimization using open source virtualization technologies*. Master, Oulu University of Applied Sciences. Disponible en: <[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/51982/Nemeth\\_Andras.pdf](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/51982/Nemeth_Andras.pdf) >
- RAMÍREZ GÓMEZ, A. (2013). *Benchmark para PCs con pocos recursos*. Universitat Politècnica de Barcelona, España. Disponible en: < <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/18722/1/89566.pdf> >
- WANG, Q.; YE, X. D.; CHEN, W. D.; XU, Y. F. (2012). A study of cloud education environment design and model construction. (pp.3082-3085). En: *2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)*, Yichang, Three Gorges, China: IEEE.
- WILLOUGHBY, K. W. 2004. The virtualization of university education: concepts, strategies and business models, en: *Journal of Applied Educational Technology 2*: 4-24.