

OpenMurVDI: despliegue de infraestructura de clientes ligeros orientados a Cloud Computing

Alejandro Roca Alhama

Cayetano Reinaldos Duarte

Raúl Sánchez Sánchez

20 de junio de 2014

Índice general

1. OpenMurVdi: FAQ (Preguntas Frecuentes)	7
1.1. Preguntas sobre el proyecto	7
1.2. Preguntas técnicas	9
1.3. Preguntas sobre documentación	10
2. Introducción	13
2.1. Marco de realización	13
2.2. Motivación técnica	14
2.3. Objetivos generales	14
3. Objetivos específicos	17
3.1. Líneas directrices principales	17
3.2. Objetivos específicos	17
3.3. Objetivos conseguidos	18
4. Antecedentes y escenario inicial	19
4.1. Proyectos anteriores	19
4.2. Escenario inicial	20
5. Descripción del proyecto	21
5.1. Clientes ligeros o Thin Clients	22
5.2. Cloud Computing: IaaS vs DaaS	22
5.2.1. IaaS: Infraestructure as a Service	22
5.2.2. DaaS: Desktop as Service as a Service	22

5.3. VDI (Virtualización de Escritorios)	22
--	----

6. Desarrollo del proyecto 25

6.1. Fase 1: Análisis y formación	25
6.1.1. Objetivos de la Fase 1	25
6.1.2. Objetivos conseguidos en esta fase	25
6.1.3. Objetivo 1.1: Análisis de soluciones VDI	26
6.1.3.1. Soluciones VDI propietarias	26
6.1.3.1.1. VMware View	26
6.1.3.1.2. Citrix XenDesktop	28
6.1.3.1.3. Microsoft VDI	28
6.1.3.2. Soluciones VDI en software libre	30
6.1.3.2.1. Openstack	30
6.1.3.2.2. Ulteo	31
6.1.3.2.3. Red Hat Enterprise Virtualization for Desktops	31
6.1.4. Conclusiones del análisis de soluciones VDI	32
6.2. Fase 2: Adecuación de la infraestructura previa	32
6.2.1. Objetivos de la Fase 2	32
6.2.2. Objetivos conseguidos en esta fase	32
6.2.3. Objetivo 2.1: Adecuación de la infraestructura previa	33
6.2.4. Objetivo 2.2: Configuración e implantación de conectores para DaaS	33
6.3. Fase 3: Análisis, desarrollo e implantación de "broker" VDI	33
6.3.1. Objetivos de la fase 3	33
6.3.2. Objetivos conseguidos en esta fase	33
6.3.3. Objetivo 3.1: Analizar, diseñar, desarrollar e implantar el "broker" VDI	34
6.4. Fase 4: Pruebas de conectividad con alumnos y profesores con clientes tradicionales	35
6.4.1. Objetivos de la fase 4	35
6.4.2. Objetivos conseguidos en esta fase	35
6.4.3. Objetivo 4.1 Puesta en marcha de pruebas sucesivas de PC's tradicionales	35
6.5. Fase 5: Despliegue y pruebas con clientes ligeros hardware (Thin Client/Raspberry Pi)	35

ÍNDICE GENERAL	5
6.5.1. Objetivos de la fase	35
6.5.2. Objetivos conseguidos en esta fase	36
6.5.3. Objetivo 5.1 Despliegue y pruebas con clientes ligeros (Thin Client/Raspberry Pi)	36
7. Resultados obtenidos	37
7.1. Arquitectura OpenMurVDI	37
7.2. Desglose de resultados	38
8. Análisis económico comparativo PC's vs VDI/Daas	39
8.1. Parámetros para estudio económico	39
8.2. Estudio realizado en base a este proyecto	40
9. Difusión y reutilización	43
9.1. Licencias y derechos de uso de los resultados	43
9.2. Difusión de los resultados	43
9.3. Reutilización de los resultados	44
10.Conclusiones	45

Capítulo 1

OpenMurVdi: FAQ (Preguntas Frecuentes)

1.1. Preguntas sobre el proyecto

1. ¿Qué es OpenMurVdi?

- OpenMurVdi es un proyecto de innovación que pretende ofrecer una solución libre para implantar, de forma ágil, virtualización de escritorios (VDI) para clientes ligeros sobre la plataforma de Cloud "Openstack".

2. ¿A quién le puede interesar este proyecto y su documentación?

- A todos aquellos que tengan necesidad de implantar una infraestructura de virtualización de escritorios (VDI) con plataformas libres.
- A todos aquellos que tengan necesidad de conocer cuáles son los principios, las bases y las necesidades de una infraestructura de virtualización de escritorios.
- A todos aquellos que necesiten material didáctico y manuales sobre infraestructuras de virtualización, instalación y configuración de la plataforma Openstack y despliegue de infraestructura VDI.

3. ¿Por qué nace este proyecto?

- Este proyecto surge de la necesidad en distintos centros educativos, organismos y empresas de centralizar escritorios virtualizados. El principal objetivo de dicha cenralización radica en que, la obsolescencia de los equipos de escritorio existentes con sus limitaciones de hardware anticuado, no pueden ejecutar de forma óptima los modernos sistemas operativos como Ubuntu 14.04 o

Windows 7/8. Se trata por lo tanto de un intento de virtualizar estos sistemas operativos en servidores centrales y ofrecer infraestructura de conectividad que permitan a estos equipos antiguos o incluso clientes ligeros su ejecución remota. Además se ha tenido muy en cuenta los costes de reposición de los equipos anticuados, reutilizándolos como clientes VDI.

- Concretamente el proyecto se ha desarrollado en el **IES Ingeniero de la Cierva (Murcia-España)** como medida inicial para reaprovechar estos equipos a través de la virtualización centralizada de escritorios (VDI) o utilizar clientes ligeros tipo Raspberry Pi. Se han realizado todas las pruebas y experiencias de configuración e implantación en diferentes aulas de ordenadores del centro.

4. ¿No existían anteriormente soluciones VDI disponibles?

- **Sí.** Realmente existen varias soluciones disponibles en el mercado para virtualización de escritorios. **Citrix Desktop, VMware View, Microsoft Virtual Center**
- Pero la mayoría de ellas son **comerciales, privativas y de alto coste** incluso desde un nº de equipos no muy elevados.
- Existe también alguna solución de software libre en el entorno de Red Hat pero las versiones empresariales también tienen coste.

5. ¿Entonces qué aporta OpenMurVdi?

- OpenMurvdi aporta una solución libre VDI completa, a través del desarrollo e implantación de un broker central con conectividad a la solución también open source de Openstack.

6. ¿Pero Openstack no tiene ya algo parecido a VDI?

- **No.** Openstack, desde sus primeras versiones ha hecho muchos esfuerzos en la parte de centralización de la virtualización en cuanto a gestión y estabilidad de la plataforma.
- Pero la conexión externa de los usuarios a las máquinas virtuales siguen siendo a través de su **Front End Horizon** o directamente a través de protocolos estándares RDP, SSH, VNC con la condición que el usuario conozca la dirección de la máquina virtual y realice la conexión de forma manual.
- Openstack Tampoco ofrece instanciación bajo demanda y gestión del ciclo de vida las máquinas virtuales.

7. ¿Cuáles son características que hacen novedoso al "broker" OpenMurVDI?

- Es software libre y ofrece una solución VDI que pretende ser completa
- Se ha desarrollado el **Broker** como eje central con conectividad con Openstack
- Autenticación centralizada
- Gestión de usuarios y grupos (fuera de Openstack)
- Acceso y elección de imagen a instanciar
- Pre-instanciación
- Instanciación on-the fly
- Gestión del ciclo de vida de la instancia (tiempo, estado, recolección/borrado)
- Redirección automática de conexión y sus protocolos (RDP,...)

8. ¿Se pueden reutilizar los resultados de este proyecto?

- **Sí.** Todos los resultados (software y documentos) generados por este proyecto se entregan y liberan bajo **licencia GPL** para el software y **licencia Creative Commons** para la documentación. Se entregan y liberan así los resultados y experiencias para darle la mayor de las difusiones posibles y contribuir así a su mayor reutilización siempre respetando los derechos que fijan dichas licencias.

1.2. Preguntas técnicas

1. ¿Con qué clientes ligeros se ha probado la funcionalidad?

- Con **PC's antiguos reutilizados** como clientes ligeros de no más de 1-1,5 GB de RAM con Ubuntu o MS-Windows instalados
- Con dispositivos **Raspberry PI** con sistema operativo Raspberry Pi Thin Client

2. ¿Contra qué tipo de máquina virtuales de escritorio se ha probado la funcionalidad?

- Contra máquinas Ubuntu 12.04 Desktop de 1,5 GB de RAM (LibreOffice, Eclipse, Navegadores ...)
- Contra máquinas Windows 7 de 1,5 GB de RAM (LibreOffice, Eclipse, Navegadores ...)

3. ¿Con cuántos equipos clientes y máquinas virtuales se ha probado?

- Las pruebas para su mayor difusión, se han realizado en grupos de equipos por aula, unos 20 equipos y mv's simultáneas. Pero debido a la posibilidad del Cloud del IES Ingeniero de la Cierva, se soporta unas pruebas de hasta 60 equipos simultáneos virtualizados en VDI.

4. ¿Qué se necesita instalar en los clientes?

- Los requisitos hardware en los clientes son los mínimos para ejecutar el software necesario que viene descrito a continuación.
- Los equipos clientes necesitan un sistema con navegador web que soporte applet java desarrollados con JDK de Oracle. Se han realizado pruebas con éxito con:
 - Clientes Ubuntu 12.04 + Firefox + OpenJdk (icedtea-7-plugin)
 - Clientes MS Windows 7 + Firefox + Javar SRE 7
 - Raspberry Pi Thin client + OpenJDK (icedtea-7-plugin)
- Además necesitan un ****cliente RDP***, la versión del broker actual soporta:
 - el cliente nativo en los sistemas cliente con **MS-Windows (mstsc)**
 - **freerdp** en los sistemas con Ubuntu y Raspberry Pi

5. ¿Qué se necesita en el Cloud para la virtualización centralizada de escritorios?

- Las pruebas se han realizado con éxito contra la versión **Openstack(Havanna)**.

6. ¿Qué se necesita para instalar el broker?

- Máquina física o virtual con Ubuntu Server 12.04/14.04. No necesita requisitos amplios de memoria o CPU (las conexiones reales contra las MV's se hacen hacia el Cloud).

7. ¿Dónde se consigue el software del broker?

Todo el software se puede descargar desde [OpenMurVDI](#)

1.3. Preguntas sobre documentación

1. ¿Qué tipo de documentación puedo encontrar sobre el proyecto

- **Documentación del desarrollo del proyecto:** el presente documento aporta toda la información del desarrollo del proyecto así como de los resultados obtenidos y su posible extrapolación a escenarios similares.

- **Documentación técnica sobre los elementos de software, instalaciones y configuraciones:** documentos sobre la parte funcional del proyecto y sus aspectos más técnicos (instalación y configuración de Openstack, instalación del broker, creación de imágenes, requisitos de los clientes).
- **Manuales de usuario:** Manual de usuario sobre el broker (conexión, usuarios, grupos, instancias...)

2. **¿Dónde puedo encontrar esa documentación?**

- Toda la documentación se puede descargar desde [OpenMurVDI](#)

Capítulo 2

Introducción



Figura 2.1: Openstack

2.1. Marco de realización

El **IES Ingeniero de la Cierva (Murcia)**, a través de su Departamento de Informática y Comunicaciones, durante el curso 2013-2014 ha llevado a cabo este proyecto, denominado **OpenMurVdi: Despliegue de infraestructura de clientes ligeros orientados a Cloud Computing**, al amparo de la convocatoria de realización de proyectos de innovación de formación profesional convocada, de forma conjunta por:

1. La Dirección General de Recursos Humanos y Calidad Educativa
2. La Dirección General de Formación Profesional y Enseñanzas de Personas Adultas

a través de la Resolución de 25 de julio de 2013 por la que se regula el proceso de selección y de seguimiento para la realización de proyectos de innovación educativa realizados por el profesorado de formación profesional de la región de Murcia.

Asimismo la Resolución conjunta de 28 de noviembre de 2013 de ambas direcciones generales resuelve finalmente y de forma favorable para que se subvencione y desarrolle el presente proyecto si bien dotándole de un importe subvencionado de aproximadamente el 50 % menos de lo inicialmente presupuestado.

2.2. Motivación técnica

La principal motivación para el diseño y realización del presente proyecto, radica en:

1. La gran evolución que han venido experimentando, en los últimos años, las tecnologías orientándose éstas hacia la utilización tanto de recursos de datos y como de aplicaciones en la nube.
2. La expansión exponencial que se ha producido en el uso de dispositivos ligeros o incluso de terminales móviles para la utilización de estos recursos.
3. La necesidad, cada vez más imperiosa, en los centros educativos, de virtualizar, de forma centralizada, los sistemas tanto de explotación como de escritorio, para poder ampliar la vida útil del puesto de trabajo del usuario final.
4. La existencia tanto en plataformas propietarias como libres de plataformas de creación y gestión de Cloud orientados a la virtualización centralizada.
5. La gran reducción de costes al utilizar plataformas libres como **OpenStack** para la implantación de virtualización centralizada frente a soluciones propietarias como VMWare o Citrix.
6. La carencia actual de sistemas de interconectividad en software libre que permitan, de forma ágil, desplegar infraestructuras de clientes ligeros con conectividad a sistemas virtualizados en Cloud Computing u Openstack

2.3. Objetivos generales

Así este proyecto se diseña tanto para cubrir objetivos técnicos como objetivos didácticos:

1. Obtener experiencias reales y de buenas prácticas para la utilización de clientes ligeros con conectividad a recursos en una nube privada o Cloud Privado en el propio centro educativo.

2. Profundizar sobre la utilización de tecnologías de virtualización de sistemas de escritorios en entornos de Cloud Computing a través de plataformas libres
3. Desplegar una infraestructura de clientes ligeros en entorno VDI para la conectividad a sistemas alojados en el Cloud
4. Desarrollar e implantar software intermedio denominado “broker” con software libre
5. Difundir las experiencias realizadas como la documentación técnica para su posterior reutilización por otros centros educativos u organismos interesados

Capítulo 3

Objetivos específicos

3.1. Líneas directrices principales

Atendiendo a las bases técnicas iniciales, el proyecto se ha llevado a cabo en base a 4 líneas directrices principales:

1. Partir de una infraestructura IaaS libre ya implantada (OpenStack en nuestro caso) y convertirla a través de configuraciones y conectores en una plataforma DaaS orientada a virtualización de escritorios.
2. Desarrollar y/o implantar un componente libre que sirva de punto de integración y que actúe de "broker" central como eje para las conexiones multiprotocolo de los clientes. Este componente será el que permita facilitar tanto a los administradores para la gestión, como a los usuarios para la utilización de la infraestructura basada en "Cloud" para VDI.
3. Provisión de métodos para que los clientes tengan facilidades de elección "on the fly" de protocolos de acceso a sus escritorios virtualizados.
4. Implantación y despliegue de gestor integral de escritorios virtuales para clientes ligeros VDI.

Estas líneas directrices se corresponden fundamentalmente con la bases técnicas para dar una respuesta a las deficiencias detectadas en las soluciones existentes de software libre para el despliegue de infraestructuras de VDI.

3.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos planteados inicialmente se relacionan con las líneas directrices descritas y se pueden desglosar en:

1. Análisis exhaustivo y formación para profesores y alumnos en tecnologías de virtualización de escritorios y sus peculiaridades.
2. Convertir, a través de configuraciones y conectores existentes, una plataforma ya existente de Cloud Computing basada en IaaS en una plataforma DaaS orientada a virtualización de escritorios VDI.
3. Desarrollar y/o implantar un componente libre que sirva de punto de integración y que actúe de broker central como eje para las conexiones multiprotocolo de los clientes. Este componente será el que permita facilitar tanto a los administradores para la gestión, como a los usuarios para la utilización de la infraestructura basada en Cloud para VDI.
4. Provisión de métodos para que los clientes tengan facilidades de protocolos de acceso a sus escritorios virtualizados.
5. Utilización con los alumnos de la infraestructura DaaS obtenida a través del broker implantado.
6. Experiencia de prueba de uso de conexión al broker implantado o desarrollado.
7. Realización de experiencia de conectividad con clientes ligeros tanto software como hardware (Ejemplo: dispositivos móviles, tablets, clientes ligeros tipo Raspberry Pi)

3.3. Objetivos conseguidos

De los siete objetivos planteados al iniciar el proyecto, al finalizar éste se han conseguido seis de forma completa y uno de forma parcial.

Únicamente **no se ha podido realizar la formación a profesores a través de un curso de formación** debido al **ajuste económico** realizado como consecuencia de la reducción del presupuesto a la hora de la adjudicación del proyecto.

Este objetivo de formación se ha sustituido por **tareas de investigación y auto estudio** por parte de los profesores participantes.

Destacar que, aunque estas tareas no han podido suplir, al cien por cien, lo que se hubiese conseguido con un curso de formación específico, tanto para los profesores participantes en el proyecto como para los demás profesores del departamento, se ha podido llevar a término el proyecto gracias a la mayor dedicación en horas de investigación propia de los miembros participantes.

Capítulo 4

Antecedentes y escenario inicial

4.1. Proyectos anteriores

El IES Ingeniero de la Cierva en colaboración con tres centros más:

- IES Los Albares (Cieza-Murcia)
- IES Gonzalo Nazareno (Dos Hermanas-Sevilla)
- IES La Campiña (Arahal-Sevilla)

participó en el desarrollo y puesta en marcha del proyecto de innovación "Implantación y puesta a punto de un cloud computing privado para despliegue de servicios en la nube" al amparo de la convocatoria que realizó el Ministerio de Educación y Ciencia en la Resolución de 5 de abril de 2011 de la Secretaría de Estado de Educación y Formación.

Este proyecto culminó satisfactoriamente en el tercer trimestre del curso 2011-2012 y como resultados destacables se pueden resaltar:

- Un análisis y comparativa de las distintas soluciones en software libre de "Cloud Computing"
- **Una implantación de infraestructura de "Cloud Computing" basada en la solución libre OpenStack.**
- La utilización de la infraestructura de "Cloud Privado" en clase.
- Formación del profesorado participante en tecnologías de "Cloud Computing".
- Elaboración de documentación técnica y manuales para su utilización en distintos módulos de los ciclos de la familia profesional de informática y comunicaciones

4.2. Escenario inicial

Como resultado técnico más importante del proyecto anteriormente desarrollado cabe destacar el estudio, análisis y puesta en marcha funcional de un “cloud privado” por cada centro participante.

Estos “cloud privados” basados en la solución libre OpenStack permiten de forma nativa:

- Centralización de máquinas virtuales que pueden albergar tanto sistemas operativos de entornos servidores (Linux Server o Microsoft Windows Server) como sistemas operativos de entornos clientes (Distribuciones Linux de Escritorio o Microsoft Windows Clientes tipo Windows XP, Windows 7, Windows 8...)
- Acceso directo, por parte de alumnos y profesores desde PC's tradicionales, a las máquinas virtuales gestionadas por OpenStack. Estos accesos permiten a alumnos y profesores, de forma simultánea, la utilización de sistemas operativos de servidores y clientes virtuales con capacidades mucho más potentes que las propias que les ofrecen los equipos físicos de escritorio de los que se disponen habitualmente.
- Facilidades de gestión centralizada, para los administradores, de los recursos virtualizados y de gestión de plantillas para ofrecer autoprovisionamiento a los usuarios.

Sin embargo actualmente ésta y otras **soluciones libres orientadas a IaaS no cuentan de forma nativa con:**

- Infraestructura de gestión integrada y ágil de usuarios y perfiles asociados a recursos virtualizados.
- Acceso descentralizado a través de soluciones que permitan elección “on the fly” de protocolos de acceso altamente compatibles como VNC, SPICE o Rdesktop. (Actualmente, en estas soluciones, los accesos automáticos a las máquinas virtuales se basan fundamentalmente en protocolo VNC, dejando la utilización de los otros protocolos para escenarios dónde el administrador debe realizar grandes labores de configuración para su utilización).
- Gestión integral de escritorios virtuales para clientes ligeros VDI.

Esta situación se debe a que las infraestructuras libres IaaS aún centralizando los recursos virtualizados y pudiéndose convertir, a través de tareas de configuración, en plataformas DaaS, no están todavía adaptadas de forma nativa para despliegue completo de infraestructuras VDI.

Capítulo 5

Descripción del proyecto

Este proyecto denominado OpenMurVdi: Despliegue de infraestructura de clientes ligeros orientados a Cloud-Computing se encuadra dentro del marco tecnológico actual dónde se prima la utilización de dispositivos clientes ubicuos y de capacidad de procesamiento limitado junto con la conectividad a recursos de datos y de procesamiento de gran productividad en la nube.

En este sentido las tecnologías orientadas a la nube y la expansión de dispositivos y hardware de clientes móviles y ligeros, se ven, sin embargo, contrapuestas a la creciente demanda de recursos, en la parte cliente, de los nuevos sistemas operativos orientados al usuario.

Para salvar esta brecha entre dispositivos ligeros o Thin Clients y la alta demanda de recursos de los sistemas operativos de escritorio modernos (MS Windows7-8, MS Windows Server, Ubuntu 14.04, Ubuntu Server...) se plantea utilizar una infraestructura híbrida de Cloud Computing dónde se ejecuten remotamente los sistemas operativos pesados complementada con un despliegue de clientes ligeros (con mínimos recursos: Raspberry Pi, equipos antiguos, tecnologías móviles) que sirvan de meros dispositivos de conexión con estos sistemas operativos en el Cloud.

Así este proyecto se vertebra sobre **tres tecnologías complementarias**:

1. **Clientes ligeros o Thin Clients**
2. **Tecnología de Cloud Computing orientadas a IaaS o DaaS** dónde se ejecutan los sistemas operativos virtualizados
3. **Tecnología de VDI(Virtualización de Escritorios)** que es la parte que permite al usuario conectarse con los sistemas operativos virtualizados.

5.1. Clientes ligeros o Thin Clients

Un cliente ligero (Thin Clients o slim client en inglés) es un ordenador cliente o un software de cliente en una arquitectura de red que depende primariamente del servidor central para las tareas de procesamiento, y se encarga principalmente en transportar la entrada y la salida entre el usuario y el servidor remoto, siendo totalmente dependiente del servidor.

Ejemplos de posibles clientes ligeros: Raspberry Pi, móviles smartphones, tablets, sistemas operativos ligeros en equipos obsoletos, etc...

En contraste, un cliente pesado realiza tanto procesamiento como le sea posible y transmite solamente los datos para las comunicaciones y el almacenamiento al servidor siendo autónomo incluso sin la presencia de servidor.

5.2. Cloud Computing: IaaS vs DaaS

5.2.1. IaaS: Infrastructure as a Service

La evolución de la infraestructura clásica de servidores físicos en las empresas, sustituyéndolos por servidores virtuales con ubicación en la propia empresa o Internet. Destaca en este ámbito la implementación comercial Amazon EC2 (Elastic Compute Cloud) y las implementaciones de software libre OpenStack y Eucalyptus, que son compatibles con el API de Amazon EC2, pero que permiten un control total sobre la tecnología.

5.2.2. DaaS: Desktop as Service as a Service

Hace referencia a la arquitectura de cloud computing orientada a ofrecer a los clientes escritorios virtualizados como servicio. Funcionalmente es similar a VDI, pero en cuanto a terminología se centra más en las necesidades, requisitos e implantación de la parte servidor.

5.3. VDI (Virtualización de Escritorios)

Esta parte junto al DaaS de la parte servidora es la parte que permite ofrecer a los usuarios la conectividad a los escritorios virtualizados en la nube.

Se hace referencia al proceso de separación entre el escritorio, que engloba los datos y programas que utilizan los usuarios para trabajar, de la máquina física. El escritorio virtualizado es almacenado, por lo tanto, remotamente en la infraestructura de la nube, implantada como DaaS, en lugar de en el disco duro del ordenador personal.

Esto significa que, en este escenario, cuando los usuarios trabajan en su escritorio, todos sus programas, aplicaciones, procesos y datos se almacenan y ejecutan centralmente, permitiendo a los usuarios acceder remotamente a sus escritorios desde cualquier dispositivo capaz de conectarse remotamente al escritorio, tales como un portátil, PC, o cliente ligero.

Un aspecto importante de este marco tecnológico es que se procede a virtualizar todo el escritorio para ofrecérselo a los clientes. De esta forma cada cliente ligero puede acceder de forma remota a su propio escritorio/sistema (o a varios de ellos) de manera diferenciada del resto de clientes.

Además también se permite que el escritorio virtualizado pueda tener persistencia a lo largo de las distintas conexiones/desconexiones realizadas.

Capítulo 6

Desarrollo del proyecto

El desarrollo del proyecto se ha realizado conforme a las fases que se planificaron en la descripción de éste a la hora de presentar la petición. No obstante, como es de esperar en un proyecto de estas envergadura y con la reducción del importe final de la subvención, los tiempos y fechas planificadas de realización de algunas fases se han visto alargadas o alteradas, sin modificar sin embargo la fecha de finalización del proyecto ni sus resultados principales planificados.

Se desglosan a continuación las distintas fases que se han seguido junto con las principales actividades que se han realizado en cada una de ellas así como una relación de los resultados obtenidos.

6.1. Fase 1: Análisis y formación

6.1.1. Objetivos de la Fase 1

Los principales objetivos planteados inicialmente en esta fase se definieron como:

- Análisis exhaustivo de las distintas soluciones existentes en plataformas para VDI en software libre, comparativas entre ellas y también comparativa con respecto a las soluciones propietarias.
- Seminario y/o Curso para alumnos y profesores sobre tecnologías emergentes en virtualización de escritorios.

6.1.2. Objetivos conseguidos en esta fase

De los dos objetivos principales descritos en esta fase 1:

- **Objetivo 1.1: conseguido.**
- **Objetivo 1.2: no realizado.** El seminario y/o curso para alumnos y profesores no se ha podido realizar debido a la disminución del presupuesto inicialmente planteado en la descripción del proyecto con respecto a lo finalmente adjudicado.

Para paliar la ausencia del curso de formación, los profesores participantes en el proyecto han realizado una labor de autoestudio de las tecnologías emergentes de virtualización de escritorios.

6.1.3. Objetivo 1.1: Análisis de soluciones VDI

El análisis de las soluciones VDI existentes actualmente ha sido uno de los puntos de partida para la realización del proyecto completo. Esta parte se consideró desde el principio, como parte fundamental a realizar de forma exhaustiva para poder centrar y ubicar claramente las decisiones y elecciones de tecnologías que se iban a utilizar en el despliegue de clientes VDI en el escenario planteado.

Para la realización del estudio comparativo de soluciones VDI existentes se debe tener en cuenta tanto las soluciones propietarias como las soluciones libres que están emergiendo en la actualidad.

6.1.3.1. Soluciones VDI propietarias

Solución	Empresa	Core de virtualización	Broker
VMWare View	VMware	VMware Sphere	VMware View Manager
Citrix XenDesktop	Citrix	Hipervisores Varios Xen Server	Citrix Director/Studio
Microsoft Virtual Desktop	Microsoft	Microsoft System Center	RDCB/RDWA

Cuadro 6.1: Soluciones VDI Propietarias

6.1.3.1.1. VMware View VMware View es la solución de VMware para ofrecer despliegue de virtualización de escritorios (VDI).

Como componentes principales, esta infraestructura se basa en:

- **VMware vSphere:** es el corazón de la infraestructura de virtualización de VMware. Este componente se encarga de la gestión de la virtualización y el acceso a los hipervisores de virtualización. Es el que se encarga de provisionar y gestionar los escritorios virtualizados.

- **VMware View Manager:** es el **broker** propiamente dicho, que se encarga de las conexiones de los clientes (PC's, clientes ligeros,...) a los escritorios virtualizados alojados en vSphere y por lo tanto de la distribución y uso de los escritorios virtualizados a dichos clientes.
- **VMware View Composer:** es el componente que se encarga de facilitar la creación y mantenimiento de las imágenes "padre" o "raíz" que van a utilizarse para crear las instancias de los escritorios virtualizados.

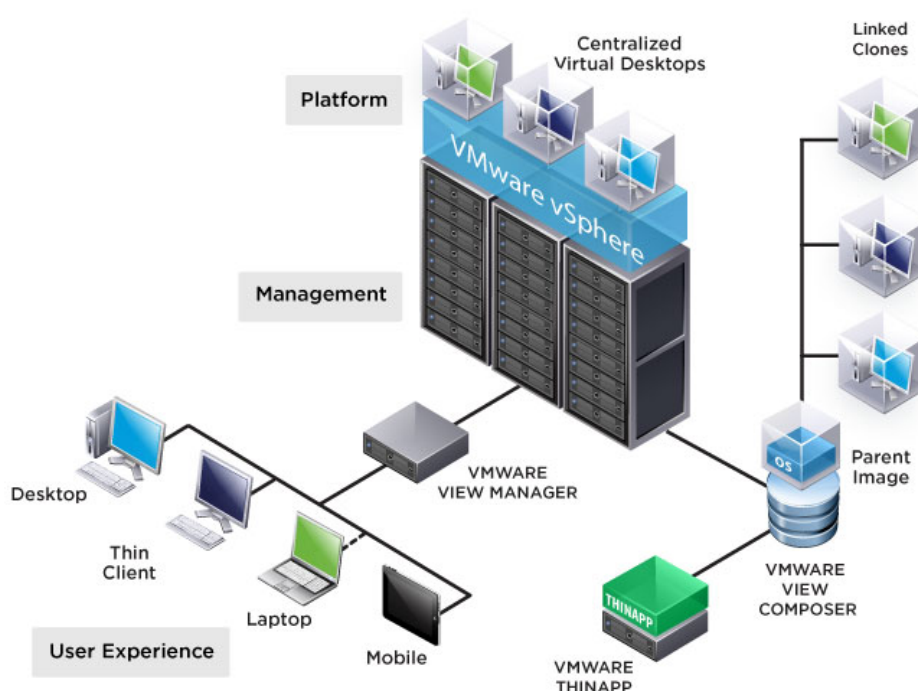


Figura 6.1: VMware View

Ventajas	Inconvenientes
Tecnología muy probada	Necesidad grandes recursos hardware
Gran integración	Software propietario
Facilidad de despliegue	Alta formación técnica
Líder del mercado	Pago de licencias de uso muy elevado

Ventajas	Inconvenientes
----------	----------------

Cuadro 6.2: VMware View pros/contras

6.1.3.1.2. Citrix XenDesktop Citrix XenDesktop es la solución de la empresa Citrix para la virtualización de escritorios.

Esta infraestructura cuenta con los siguientes elementos:

- **Xenserver:** que sirve de backend y núcleo dónde se almacenan y ejecutan las instancias de los escritorios virtualizados. Este componente es el que alberga el hipervisor para llevar a cabo la virtualización.
- **Desktop Studio:** este componente es el encargado de ofrecer al administrador la interfaz adecuada para la creación de las imágenes “maestras” o “raíz” de los escritorios a virtualizar. Además servirá para creación y gestión de grupos de usuarios y asignación de acceso a diferentes imágenes de escritorios virtualizados.
- **Controller y Desktop Director:** estos dos componentes son el núcleo del **broker** y son los encargados de las conexiones de los clientes con el/los escritorio/s virtualizado/s. Proveerá una conexión directa de los usuarios, desde sus clientes hasta el escritorio virtualizado, según las credenciales de cada usuario.
- **Master Image:** este componente facilita la asignación de almacenamiento para las imágenes maestras que será puestas a disposición de los clientes.

Ventajas	Inconvenientes
Gran experiencia en conectividad remota	Grandes recursos hw
Alta integración	Software propietario
Despliegue sencillo	Formación técnica necesaria
Segundo del mercado	Pago de licencias de uso elevado

Cuadro 6.3: Citrix Xendesktop pros/contras

6.1.3.1.3. Microsoft VDI Microsoft ofrece soluciones nativas para implementar la conectividad a escritorios remotos virtualizados

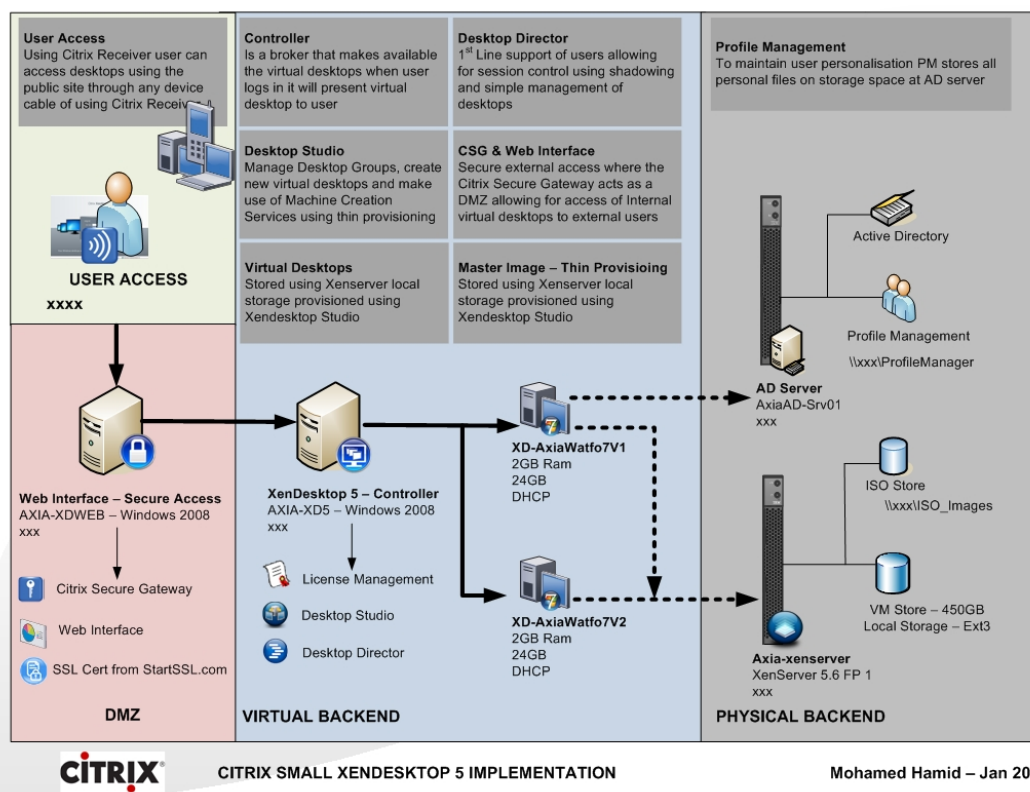


Figura 6.2: Citrix Xendesktop

La infraestructura propuesta por Microsoft cuenta con una serie de componentes:

- **Servidor de virtualización:** es el que se encarga de la virtualización de los escritorios. En este servidor se tiene que ejecutar Hyperv para poder realizar dicha virtualización
- **Clientes ligeros (Thin Client):** pueden ser clientes tradicionales con un software específico instalado o clientes que vienen ya preparados con los protocolos propietarios de Microsoft
- **Microsoft System Center:** es el núcleo de la infraestructura. Permite la gestión de la conectividad entre todos los componentes de la arquitectura.

Ventajas	Inconvenientes
Sistemas homogéneo con la mayoría de clientes	Necesidad de recursos de nivel medio
Alta integración y conocimiento por técnicos	Software propietario
Despliegue sencillo	Formación técnica necesaria
Posibilidad de licencias a medida	Pago de licencias

Cuadro 6.4: Microsoft pros/contras

Más información en [Microsoft VDI](#)

6.1.3.2. Soluciones VDI en software libre

En el entorno de soluciones basadas en software libre existen bastantes acercamientos a la virtualización centralizada cuyo exponente más relevante en la actualidad es Openstack. Pero existen otras propuestas que merecen ser conocidas.

6.1.3.2.1. Openstack Openstack actualmente en su versión Havana ha mejorado mucho con respecto a versiones anteriores, sobre todo en estabilidad y en la gestión del ciclo de vida de las instancias. Openstack es, ahora mismo el sistema más completo de gestión de virtualización centralizada en software libre.

Ventajas	Inconvenientes
Sistema de gestión virtual centralizada	No ofrece de forma nativa solución VDI
Permite conectarse a varios hypervisores	La gestión de autenticación puede mejorar
Es software libre/sin licencias privativas	La instalación y configuración pueden ser difíciles

Ventajas	Inconvenientes
----------	----------------

Cuadro 6.5: Openstack pros/contras

6.1.3.2.2. Ulteo La solución Ulteo es una infraestructura de escritorios virtuales basada en GNU/Linux. Soporta sistemas de escritorios virtuales GNU/Linux y Windows. Ulteo está compuesto por los siguientes módulos:

- **Ulteo Session Manager:** se encarga de gestionar los usuarios, servidores y aplicaciones y se instala sobre un servidor Linux.
- **Ulteo Application Server:** módulos que se instalan en los servidores tanto Windows como Linux encargados de ejecutar las aplicaciones.
- **Ulteo Gateway:** módulo que se utiliza para conexiones a través de https y conexiones a través de firewall.
- **Ulteo Native Client:** instalado en el equipo cliente permite la integración de las aplicaciones remotas en el escritorio local, como si de accesos remotos se tratase.

Ventajas	Inconvenientes
Sistema basado en software libre (versión comunidad)	No es una solución VDI completa
Se instala como módulos adicionales al sistema	Solo es una solución de virtualización de aplicaciones

6.1.3.2.3. Red Hat Enterprise Virtualization for Desktops La solución de Red Hat para la virtualización de escritorios se llama Red Hat Enterprise Virtualization for desktops.

Esta solución se basa íntegramente en software libre por lo que sería candidata a ser una de las más utilizadas, pero también tiene algún inconveniente.

Como componentes principales tiene:

- **KVM como hypervisor:** actúa de back-end para la virtualización de los escritorios
- **SPICE:** como protocolo de conexión entre los distintos clientes y el back-end de virtualización. Se puede ver como funciona en [SPICE](#)

- **Cientes:** que utilizan SPICE como protocolo para conectividad con los escritorios virtualizados y como mecanismo de redirección de recursos locales hacia los escritorios virtualizados.

Ventajas	Inconvenientes
Sistema basado en software libre	Se debe crear entorno de máquina virtual en cada nodo
SPICE se está convirtiendo en estándar	Falla a la hora de asignar recursos de red

6.1.4. Conclusiones del análisis de soluciones VDI

Una vez analizadas las soluciones VDI existentes tanto en software libre como en soluciones propietarias se pone de manifiesto que las soluciones comerciales suponen unos costes prohibitivos para poder implantarlas en un entorno educativo.

Por otra parte las soluciones basadas en software libre no aportan ninguna una solución completa para poder implantar una arquitectura totalmente funcional de escritorios virtuales con clientes ligeros.

La solución que más se acerca es una implantación de OpenStack junto con otros componentes adicionales para poder llegar a conseguir la arquitectura completa. Precisamente el componente del que carece OpenStack es un "broker" que sirva de punto de interconectividad gestionada entre los clientes y los escritorios virtualizados

6.2. Fase 2: Adecuación de la infraestructura previa

6.2.1. Objetivos de la Fase 2

En esta fase 2 los objetivos planteados han sido:

- Actualización de la versión de OpenStack existente en el centro (Essex) a una nueva versión disponible
- Configuración e implantación de conectores para pasar de una infraestructura IaaS a DaaS

6.2.2. Objetivos conseguidos en esta fase

Los dos objetivos descritos se han conseguido realizar en esta fase 2

6.2.3. Objetivo 2.1: Adecuación de la infraestructura previa

Este objetivo se ha conseguido realizando tareas de instalación y configuración de la nueva versión de OpenStack en su versión Havana.

Es preciso destacar que uno de los mayores trabajos realizados (aún cayendo fuera del ámbito de este proyecto) ha sido el probarla configuración que viene con el componente **Neutron** de OpenStack en esta versión. Este componente sirve para realizar virtualización de redes y abre la vía para ofrecer una serie de servicios de gran valor añadido en la virtualización centralizada.

Pero al no ser estrictamente necesario para la virtualización VDI, no se han incluido en los resultados las pruebas realizadas.

Por lo demás, a finales del mes de febrero, quedó actualizada la infraestructura de OpenStack en su nueva versión

6.2.4. Objetivo 2.2: Configuración e implantación de conectores para DaaS

En este caso, tras los análisis realizados y la arquitectura que se decidió implantar los conectores para DaaS se basan en dos componentes:

- Conector del **Broker** hacia OpenStack para gestionar todo el ciclo de vida de los escritorios virtualizados
- Conector desde los clientes hacia los escritorios virtualizados: se ha optado finalmente por utilizar protocolo **RDP** a través de distintos clientes (mstsc, Xfreerdp...)

6.3. Fase 3: Análisis, desarrollo e implantación de "broker" VDI

6.3.1. Objetivos de la fase 3

El principal objetivo a conseguir en esta fase ha sido:

- Analizar, diseñar, desarrollar e implantar un "broker" VDI libre con conectividad a OpenStack

6.3.2. Objetivos conseguidos en esta fase

Al finalizar el proyecto está funcionando según los requisitos iniciales planteados el "broker" como punto de interconectividad central de toda la infraestructura VDI.

6.3.3. Objetivo 3.1: Analizar, diseñar, desarrollar e implantar el “broker” VDI

Esta parte del proyecto es la parte fundamental sin la cual no se hubiera podido llevar a término. De tal manera que ha sido la fase que más tiempo y carga de trabajo ha conllevado, finalizando a finales del mes de abril.

A lo largo de esta fase se han tomado una serie de decisiones siempre condicionadas por la directriz de utilizar componentes de software libre y desarrollar componentes con licencia libre.

Concretamente el broker desarrollado utiliza las siguientes tecnologías:

- **Ruby On Rails** para la parte del desarrollo del “core” del “broker”
- **Java** para la parte del applet que se ejecute en el cliente
- **RDP** como protocolo para que los clientes accedan a los escritorios virtualizados. Este protocolo será utilizado por los programas que se ejecuten en los clientes (Remmina, Xfreerdp, mstsc...)

Además el broker desarrollado cumple con las siguientes funcionalidades:

- **Autenticación**
- **Gestión de usuarios y grupos**
- **Acceso/Elección de imágenes**
- **Pre-instanciación**
- **Instanciación on-the-fly**
- **Ciclo de vida de instancias**
- **Redirección de protocolos de conexión**

Este componente se erige como la parte central de toda la arquitectura VDI para agilizar la conectividad de los clientes ligeros a sus escritorios virtualizados

6.4. Fase 4: Pruebas de conectividad con alumnos y profesores con clientes tradicionales

6.4.1. Objetivos de la fase 4

En esta fase los objetivos planteado han sido los siguientes:

- Puesta en marcha de pruebas sucesivas e incrementales de PC's tradicionales con conectividad al "broker"

6.4.2. Objetivos conseguidos en esta fase

Se han realizado todas las pruebas oportunas hasta conseguir una funcionalidad completa del "broker" ante conectividad de PC's tradicionales.

6.4.3. Objetivo 4.1 Puesta en marcha de pruebas sucesivas de PC's tradicionales

En esta fase se han realizado una serie de pruebas en el aula con alumnos y profesores para testar la funcionalidad de la arquitectura desde PC's tradicionales (un poco obsoletos).

Para poder realizar estas pruebas se ha tenido que fijar las técnicas correctas para realizar imágenes que sirvan de plantilla para los sistemas operativos que se van a instanciar. Concretament uno de los mayores trabajos ha sido llegar a definir la forma correcta de realizar estas imágenes para las versiones de Windows ya que se necesita utilizar un componente denominado **Clou-Init** para poder gestionar el cambio de contraseña en cada una de las instancias.

A lo largo de las pruebas con alumnos se han detectado algunos fallos (errores en la autenticación, máquinas virtuales Java mal configuradas o problemas con los certificados) que se han ido solventando paulatinamente en el mes de mayo para conseguir una arquitectura funcional completa.

6.5. Fase 5: Despliegue y pruebas con clientes ligeros hardware (Thin Client/Raspberry Pi)

6.5.1. Objetivos de la fase

En esta fase los objetivos planteados han sido los siguientes:

- Despliegue y pruebas con clientes ligeros

6.5.2. Objetivos conseguidos en esta fase

Se ha realizado un despliegue real con cliente ligeros tipo Raspberry Pi conectadas a la infraestructura de OpenMurVDI.

6.5.3. Objetivo 5.1 Despliegue y pruebas con clientes ligeros (Thin Client/ Raspberry Pi)

En el mes de mayo, junto con las pruebas realizadas con clientes tradicionales, se ha realizado también un despliegue con clientes ligeros Raspberry PI.

La parte un poco más compleja a la hora de utilizar este tipo de clientes en esta infraestructura es la parte de la propia configuración del dispositivo Raspberry Pi (512 MB)

En concreto, se han probado dos sistemas clientes:

- **Raspberry Pi Thin Client**
- **Raspbian**

Ambos dos han pasado los tests, dando por válida la funcionalidad de toda la infraestructura y de los productos desarrollados o integrados.

Sí habría que destacar que en estos clientes ligeros (tan mínimos) la virtualización de escritorio funciona correctamente salvo en el caso que se requiera ejecutar vídeo a ciertas resoluciones. En este caso se observa un retraso bastante notable en la visualización de dicho video. Esta situación es debida a la poca memoria de este tipo de cliente y a su poca capacidad de procesamiento de vídeo. Pero por todo lo demás funciona correctamente.

Estas pruebas y despliegues han verificado por lo tanto la validez de todos los trabajos realizados y su posible extrapolación a otros entornos similares (objeto mismo de los proyectos de innovación)

Capítulo 7

Resultados obtenidos

7.1. Arquitectura OpenMurVDI

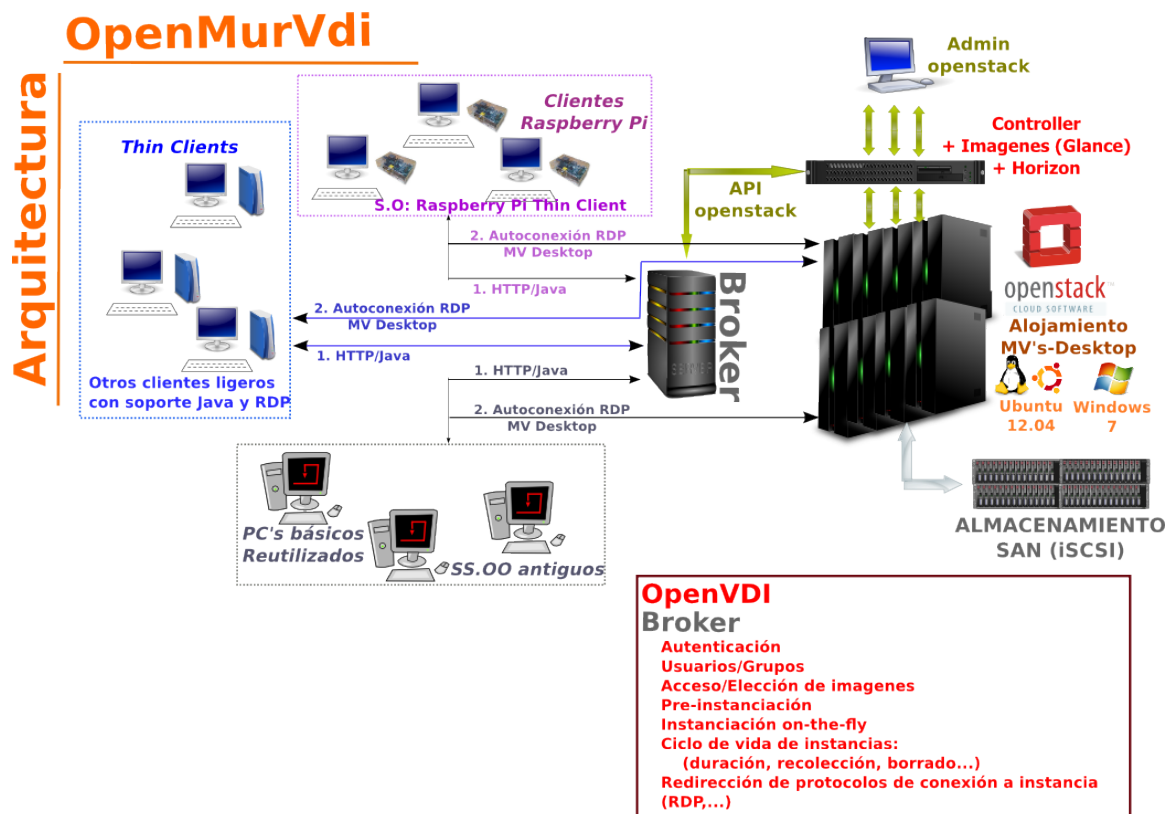


Figura 7.1: OpenMurVDI

A través de todos los trabajos realizados a lo largo del proyecto se ha conseguido montar la arquitectura funcional que aparece en la figura.

Como se puede observar el **Broker** desarrollado actúa de punto central de interconectividad de toda la infraestructura

7.2. Desglose de resultados

Además de la arquitectura completa, se pueden desglosar los distintos resultados obtenidos

Resultado	Fase
Análisis comparativo de soluciones VDI	1
Manuales de instalación y buenas prácticas para OpenStack Havana	2
"Broker" OpenMurVDI (código fuente y manuales)	3
"Applet" Java para clientes	3
Manuales de preparación de imágenes	4
Experiencias de conectividad PC's	4
Experiencias de conectividad Raspberry Pi	5

Como se puede observar cada una de estos resultados puede ser reutilizados de forma independiente o conjunta.

Capítulo 8

Análisis económico comparativo PC's vs VDI/DaaS

En una organización, uno de los aspectos más importantes a la hora de migrar la infraestructura de TI de una arquitectura tradicional hacia una arquitectura VDI/DaaS, es el estudio económico de costes de implantación y de retorno de la inversión. Existen diferentes acercamientos para realizar este análisis así como multitud de parámetros que dependen de las peculiaridades específicas de los entornos de partida y finales a conseguir.

Teniendo en cuenta que el presente proyecto se ha desarrollado en un centro educativo, se toman, aquí, como base de estudio, los parámetros, costes y ahorros que supone un despliegue VDI/DaaS basado en software libre en entornos educativos.

Se incluye en este estudio desde los costes de infraestructura de servidores y comunicaciones, hasta los costes de adquisición de clientes ligeros o reutilización de equipos antiguos con los correspondientes despliegues de configuraciones. No se ignoran tampoco otros tipos de costes como los de licencias de software, los costes/ahorros energéticos o los costes en administración.

Cabe destacar de forma muy relevante que la mayoría de los costes de infraestructuras que se indican en este estudio, no se han realizado con cargo al presente proyecto, sino que se relacionan con infraestructuras y elementos que tiene previamente – o adquiere por otros medios– el centro. Sin embargo se incluyen todos aquí, de forma completa, para asegurar la rigurosidad de este estudio económico que pretende analizar comparativamente los costes de arquitecturas basadas en PC's frente a arquitecturas VDI/DaaS.

8.1. Parámetros para estudio económico

Parámetro	Categoría	Tipo Coste	Observaciones
Servidores	Hardware	Fijo+variablee	Servidores del Cloud
Switches	Comunicaciones	Fijo	Switches de interconexión
Pc's clientes	Hardware	Escalable	Equipos pc's reutilizados
Thin clients	Hardware	Escalable	Clientes ligeros
Almacenamiento/SAN	Hardware	Fijo+variable	Almacenamiento para el Cloud
OpenStack	Software	Gratis-GPL	Software para Cloud-DaaS
Broker-VDI	Software	Desarrollo propio	Desarrollo de broker VDI
Sistemas Linux	Software	Gratis-GPL	Para los sistemas virtualizados Linux
Sistemas MS-Windows	Software	Licencias	Para los sistemas virtualizados MS-Windows
Fluido eléctrico	Energía	Fijo+variable	Energía consumida
Despliegue	Admin	Horas/Hombre	Coste de implantación y despliegue

Cuadro 8.1: Parámetros de estudio

Como se ve algunos de estos parámetros están sujetos a costes fijos de implantación y otros son variables dependiendo el número de equipos clientes que se desea desplegar.

8.2. Estudio realizado en base a este proyecto

El estudio realizado compara tres soluciones de renovación de equipos:

- **OpenMurVDI:** implantación de infraestructura VDI libre sin renovación de equipos
 - **Renovación de equipos:** renovación del parque de PC's de escritorios
 - **VMware VDI:** implantación de solución VDI VMware sin renovación de equipos
-
- Como se puede observar en la figura de la comparación económica la solución más cara de todas (a partir de los 50 equipos) es la de renovación de equipos frente a las de reutilización de estos equipos y utilizar una solución VDI.
 - La segunda solución más cara es la de la implantación de una solución VDI propietaria como puede ser VMware. Esta solución es más barata que renovar todos los equipos pero escala mal debido a los costes de licencias.

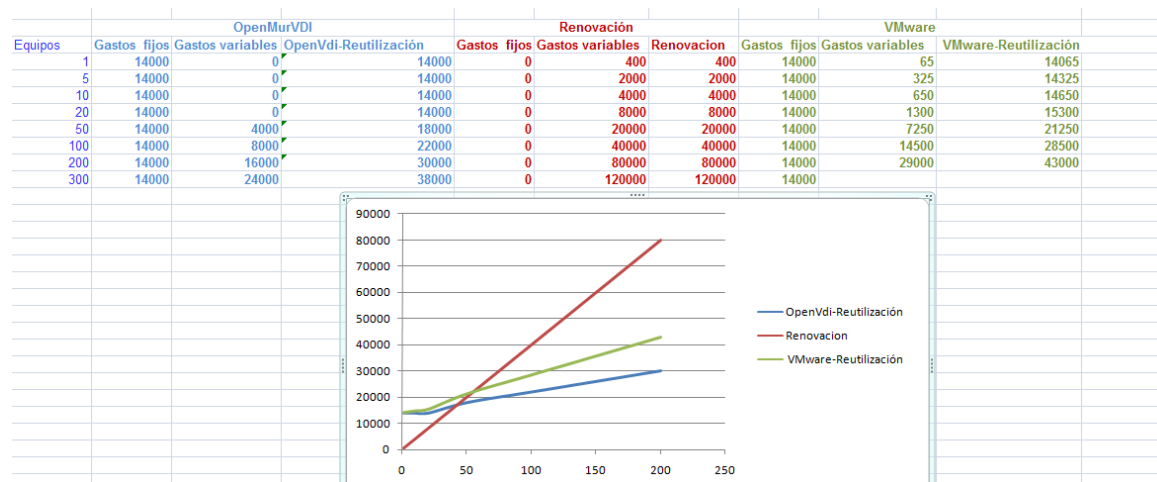


Figura 8.1: Comparación económica

- Por último la solución OpenMurVdi con reutilización de equipos es la que más barata sale a partir de los 50 equipos.

Como se ha comentado anteriormente en el estudio se han tenido en cuenta tanto los costes fijos de hardware, como las licencias de software si fuesen necesarias.

Como se ve la solución OpenMurVdi puede escalar lo suficientemente bien para competir con otras soluciones comerciales existentes.

Capítulo 9

Difusión y reutilización

Este proyecto se desarrollado con la intención que todos los resultados obtenidos tengan la mayor de las difusiones y que se puedan reutilizar de forma abierta por cualquier interesado.

9.1. Licencias y derechos de uso de los resultados

Las licencias utilizadas en todos los componentes usados y en los que se han desarrollado se basan en dos tipos:

- **Licencia GPL** libre para los componentes de software utilizados
- **Licencia Creative Commons** (non commercial) para toda la documentación generada

Se intenta de este modo que cualquier interesado pueda utilizar los resultados de este proyecto para montar infraestructura VDI con software libre

9.2. Difusión de los resultados

La difusión de los resultados del proyecto se ha realizado o va a realizar a diferentes niveles:

- En el propio centro educativo a través de su plataforma web y como nota de prensa en la revista del centro
- En el centro de profesores y recursos para su máxima difusión a los docentes de la Región de Murcia

- Publicado en GitHub en <https://github.com/OpenMurVDI>
- Notificación a la UM y al servicio de informática de la Consejería de Educación
- Notificación a <http://barrapunto.com>

9.3. Reutilización de los resultados

Vistos todos los resultados obtenidos así como la funcionalidad conseguida los resultados de este proyecto son susceptibles de ser reutilizados en los siguientes ámbitos:

- **Entornos educativos** al utilizar los materiales, manuales configuraciones y componentes desarrollados en este proyecto como materiales didácticos relativos a tecnologías de virtualización y entornos VDI.
- **Entornos de infraestructuras educativas** para los módulos de los ciclos de la familia profesional de informática y comunicaciones a la hora de montar infraestructuras de virtualización centralizada VDI en otros centros educativos.
- **Entornos productivos en otros organismos públicos** y en concreto en aquellos servicios de informática que utilizan actualmente tecnologías de virtualización VDI comerciales pero que estén estudiando cambios a soluciones de Software Libre.
- **Entornos de organizaciones o empresas privadas** que deseen adentrarse en la reposición de su equipamiento informático en el puesto de usuario y elijan montar infraestructura VDI. Estos podrán elegir a partir de ahora una infraestructura basada completamente en tecnologías de software libre.

Como se puede observar en cada uno de estos entornos las posibilidades de aplicación práctica y de reutilización de los resultados van a ser múltiples.

Capítulo 10

Conclusiones

El desarrollo del presente proyecto ha supuesto la consecución de una infraestructura VDI basada en software libre y orientada a clientes ligeros.

La funcionalidad de esta infraestructura es muy similar a otras comerciales con la ventaja de suponer un mucho menor coste ya que está libre de licencias privativas lo que la hace mucho más atractiva. Aún pudiendo no ofrecer todas y cada una de las funcionalidades de las soluciones privativas más avanzadas, en entornos acotados es sumamente útil y de gran productividad.

El haber probado esta infraestructura con variedad de clientes (PC's obsoletos, Raspberry PI con dos sistemas diferentes...) han validado la robustez de la plataforma y por lo tanto su posible uso en otros entornos similares al de partida en el IES Ingeniero de la Cierva.

Además este proyecto ha abierto otras vías de estudio y ampliación de los resultados obtenidos como pueden ser:

- Mejora en los procesos de autenticación (plugin LDAP)
- Mayor soporte a todo tipo de escritorios virtualizados (Windows 8, Android)
- Ofrecer un sistema de elección de clientes de conexión remota
- Ampliar el soporte del "broker" realizado hacia otro tipo de clientes que no necesiten soporte para máquina virtual Java
- Incluir las funcionalidades analizadas de **Neutron** para virtualización de redes
- Dotar al broker de un "front-end" del sistema de gestión de imágenes Glance de OpenStack
- Preparar una imagen cliente que se pueda servir por sistema PXE para mejorar el soporte del broker y facilitar así la distribución de certificados.

Como se puede apreciar existen varias vías de continuidad interesantes para afianzar esta solución de arquitectura VDI basada en software libre.