

Laboratorios virtuales de redes: SÍ, inténtelo en casa

Jesús Martínez, Juan José Ortega, José Alberto Fernández

Dept. Lenguajes y Ciencias de la Computación

Universidad de Málaga

E.T.S.I. Informática

29071 Málaga

{jmcruz, juanjose, jprat}@lcc.uma.es

Resumen

Las asignaturas de redes y servicios distribuidos han adquirido un papel destacado en los nuevos títulos de grado en Informática. Habitualmente, las actividades prácticas de diseño y configuración de redes requieren de costosas infraestructuras de laboratorio, con recursos compartidos que limitan el número de alumnos que pueden simultanear su manejo. No obstante, las nuevas posibilidades que ofrece la virtualización permiten explorar alternativas realistas con routers y switches virtuales que se pueden manejar en entornos de laboratorio con poca infraestructura. Este artículo repasa las posibilidades existentes para la docencia de laboratorios de redes y argumenta las soluciones adoptadas en la Universidad de Málaga con énfasis en actividades de carácter no presencial.

Summary

Computer Networks and Distributed Services have a relevant role in the Degree on Informatics curricula. Usually, the practical tasks regarding the design and configuration of network topologies require expensive infrastructures for laboratories with shared resources (routers, switches) which limit the number of students that can manage them simultaneously. However, new trends and possibilities in virtualization allow professors to explore new ways to develop and practice with complex network topologies in a cheaper way. This paper reviews the existing approaches in virtualization to teach subjects focused on networking, and argues what are the solutions planned at the University of Málaga, with focus on on-line and distance learning activities.

Palabras clave

virtualización, laboratorios, enseñanza no presencial, redes, telemática

1. Introducción

Las materias de redes y servicios distribuidos siempre han contado con un papel destacado en los títulos de ingenierías en Informática (y, obviamente, en Telecomunicación). Como no podría ser de otra forma, este papel se ha reforzado en los nuevos grados adaptados al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), en el que el trabajo continuado del alumno y las actividades prácticas son fundamentales para la correcta adquisición de las competencias profesionales.

Dentro de la materia de redes de ordenadores, se articulan habitualmente asignaturas de laboratorio en las que se configuran, administran y mantienen topologías de red que permiten la ejecución de distintos tipos de servicios distribuidos. Tanto ahora como en los antiguos planes de estudio, los docentes se enfrentan a serios problemas para realizar prácticas de diseño de redes, puesto que los equipos de interconexión requeridos (routers, switches) suponen un desembolso importante para un laboratorio, además de la limitación de alumnos que pueden manejarlos de forma simultánea. Es también necesario reseñar que el mantenimiento de dichos equipos durante el curso supone un esfuerzo mayor que el de los ordenadores de un laboratorio estándar. Por último, debe también existir un plan de renovación de equipamientos, puesto que la evolución de las tecnologías para redes es continua: evolución de protocolos inalámbricos, incremento del ancho de banda, migración IPv6, VoIP (voz sobre IP) y calidad de servicio, etc.

Sin embargo, las nuevas posibilidades que ofrece la virtualización permiten repensar la forma en que pueden impartirse asignaturas de esta índole, donde las complejas infraestructuras físicas se pueden sustituir por PCs y equipos de interconexión virtuales con todo el software (y la configuración necesaria) para prácticas disponibles en el momento en que se vayan a utilizar. Puesto que dichos entornos virtuales

van a ser modificados en el contexto de una sesión de laboratorio, se minimiza el riesgo de dañar equipos de forma permanente y afectar al normal funcionamiento de sesiones posteriores.

Este artículo repasa las posibilidades existentes para la docencia de laboratorios de redes y argumenta las soluciones adoptadas en la Universidad de Málaga para los grados en Informática y máster en Telemática con énfasis en actividades de carácter no presencial. Nuestro objetivo es proporcionar a los estudiantes un entorno gráfico completo para diseñar y gestionar una red de ordenadores a través del campus virtual. El requisito principal es que las prácticas deben ser realistas y, por lo tanto, siempre que se pueda se deben manejar equipos y tecnologías existentes en el mercado de los equipos para redes.

El artículo está organizado de la siguiente forma. La sección 2 introduce la situación actual de los laboratorios en el contexto de la Universidad de Málaga y la sección 3 presenta las propuestas de virtualización que han sido adoptadas de forma piloto para éste y los cursos venideros. La sección 4 presenta algunos ejemplos que están disponibles en el entorno virtual y la sección 5 discute propuestas relacionadas que han sido la inspiración para el modelo de virtualización presentado. Por último, se plantean las conclusiones más interesantes y nuestras líneas de trabajo futuro.

2. Prácticas de redes en el contexto de la Universidad de Málaga

Los actuales títulos en extinción tienen una previsión de créditos específicos para la enseñanza práctica de conceptos relacionados con las redes de ordenadores, que están adscritos al área de Ingeniería Telemática. Así, en Ingeniería Informática existe una asignatura optativa de seis créditos denominada *Diseño de Redes Telemáticas*. También en Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas y de Gestión se imparten *Diseño de Redes Telemáticas* y *Laboratorio de Redes*, ambas de seis créditos. En estas asignaturas no se venían realizando prácticas que manipulasen directamente equipos de interconexión en laboratorio, sino que se realizaban actividades sobre la infraestructura de red existente. Una de las razones que han motivado este hecho es el abundante número de estudiantes que, tradicionalmente, cursan estas

asignaturas.

Los nuevos grados en Informática pretenden corregir esta situación al asignar grupos de prácticas más pequeños aunque, en el caso de los laboratorios de redes, sigue resultando complicado contar con equipos e infraestructura suficientes para que los estudiantes puedan trabajar simultáneamente en el aula. En la Universidad de Málaga se pueden cursar desde este año tres nuevos grados, los de Ingeniería Informática, Ingeniería del Software e Ingeniería de Computadores. El primero de ellos cuenta con una asignatura troncal que se impartirá en cuarto curso denominada *Administración de Redes y Sistemas* (6 créditos ECTS) y en los tres grados existe una optativa denominada *Redes Inalámbricas* (6 créditos ECTS).

Además, el área de Telemática también se encarga de docencia en la ETSI Telecomunicación relacionada con los laboratorios de redes dentro del Máster de Telemática y Redes de Telecomunicación. Aquí encontramos *Diseño y Configuración de redes Telemáticas* (obligatoria) y *Software de Comunicaciones Empotrado* (optativa), aunque hay que reseñar que en el Máster si hay equipos de interconexión para prácticas de la marca Avaya/Nortel Networks (dos routers core, dos de acceso, dos balanceadores de carga, dos cortafuegos y dos centralitas VoIP). Por último, también en los nuevos grados de telecomunicación se impartirán materias relacionadas, como la de *Administración de Equipos y Sistemas en Red* (obligatoria en el grado de Ingeniería Telemática) y otras.

La nueva realidad del Espacio Europeo de Educación Superior demanda nuevas metodologías didácticas, y fomenta el uso de herramientas TIC, como el Campus Virtual. La siguiente sección presenta las decisiones que se han tomado para garantizar la adquisición de competencias profesionales en el sector de las redes, donde se requiere del manejo de equipos de interconexión como routers y switches. La experiencia piloto basada en virtualización se va a desarrollar a partir del segundo cuatrimestre del curso 2010-11, entre las asignaturas de *Laboratorio de Redes* (I.T. Informática de Sistemas) y *Software de Comunicaciones Empotrado* (Máster).

3. Propuestas de virtualización y para enseñanza no presencial

Nuestro principal objetivo a la hora de preparar contenidos para laboratorios de redes mediante virtualización es buscar un entorno de trabajo con las siguientes características:

- Facilidad de configuración: buscamos un entorno gráfico que permita a nuestros estudiantes el diseño y gestión de topologías de red compuestas por ordenadores finales (PCs) y equipos de interconexión (routers y switches)
- Entornos de trabajo realistas: para desarrollar las competencias demandadas por el sector empresarial en materia de diseño y administración de redes los estudiantes deben manejar equipos reales, preferiblemente a través de emuladores y simuladores de marcas de fuerte implantación en el mercado. Si es posible, se priorizarán herramientas de código abierto
- Posibilidad de integración en el Campus Virtual, para que los estudiantes puedan flexibilizar su aprendizaje (haciendo hincapié en sesiones no presenciales) y para que los profesores puedan corregir las actividades fuera de línea, en otro momento.

Con estas premisas, se estudiaron y por fin eligieron tres herramientas básicas: GNS3 [1] como diseñador gráfico de redes, XORP [2] como router de código abierto con una interfaz de configuración y funcionalidades similares a routers de reconocido prestigio y, VirtualBox [3] y VMWare ESX [5] para la virtualización a distintos niveles.

3.1. GNS3

GNS3 son las siglas de Graphical Network Simulator. Esta aplicación está enfocada a la simulación de redes complejas para su estudio. Este entorno visual usa como motor de ejecución la plataforma Dynamips/Dynagen [6], creada originalmente para ejecutar y emular el firmware de los routers y dispositivos de Cisco Systems (IOS) y Juniper (JunOS), además de establecer topologías (escenarios) para conectarlos. Dichas topologías pueden, a su vez, interconectarse con otras ejecutándose en diferentes instancias de GNS3, lo que se denomina red virtual, bien en el mismo o en diferentes PCs (hacien-

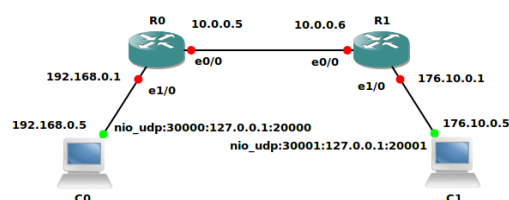


Figura 1: Topología de ejemplo

do uso de los elementos de red disponibles en las máquinas). Este último caso es muy interesante para diseñar actividades donde diferentes grupos de estudiantes cooperan para conseguir la interconectividad completa de cada topología (sistema autónomo, en terminología de redes) de la que son responsables/administradores.

La construcción de escenarios en GNS3 es muy intuitiva gracias a su interfaz visual. Mediante un sistema de arrastrar y soltar elementos se distribuyen los routers y concentradores definidos sobre el área de trabajo y, tras definir en sus características los interfaces de los que dispondrán, se unen mediante “cables” seleccionando con el ratón las interfaces origen y destino. Un ejemplo lo constituye la figura 1.

Una vez definida la topología de la red, los estudiantes pueden proceder a configurar el comportamiento de cada uno de los equipos de interconexión implicados, estableciendo las propiedades de los protocolos de encaminamiento que vayan a ser utilizados. Esta tarea se realiza a través de la consola de comandos del dispositivo en cuestión, accedida mediante emulación por Dynamips/Dynagen.

Las configuraciones de escenarios en GNS3, pueden ser guardadas en formato de archivo de texto. Además de las topologías, la configuración de cada router también se almacena, y puede ser importada para otro dispositivo. Esta última característica es tremendamente útil para labores de evaluación de prácticas, puesto que los profesores pueden pedir como entregables los archivos de configuración de los equipos y replicar el resultado de la actividad del estudiante con absoluta fidelidad.

Para inyectar tráfico a los escenarios de red creados con GNS3 y comprobar si su comportamiento es el esperado, los estudiantes tienen la posibilidad de conectar elementos externos simulándolos como

nubes a las que se asignan diversas interfaces de red externas (reales) del PC anfitrión. Las interfaces de una *nube* se denominan NIO (network input/output) dentro de GNS3, y existen distintos tipos. Las NIO UDP permiten la conexión a un puerto de un host (el anfitrión en las actividades desarrolladas para los estudiantes), y han sido utilizadas para conectar aplicaciones ligeras llamadas VPCS que simulan PCs sencillos con herramientas de diagnóstico de red (para realizar pings o trazar rutas de paquetes). Otros tipos de interfaces NIO en GNS3, como las NIO Ethernet (para conectarse a una tarjeta de red Ethernet), las NIO UNIX (para tomar las conexiones desde archivos de dispositivo en UNIX) o las NIO TAP (interfaces de kernel virtuales tipo puente de nivel dos), se han empleado en nuestra propuesta para interactuar con otros tipos de dispositivos de interconexión sin hacer uso de Dynamips/Dynagen.

Otra posibilidad útil de diagnóstico lo constituye la capacidad de GNS3 para registrar los paquetes que atraviesan un interfaz seleccionado. Estos registros se almacenan en un archivo de traza compatible con el analizador de protocolos gratuito Wireshark [4].

Sin embargo, hay dos cuestiones que hay que abordar con cautela a la hora de trabajar con GNS3. En primer lugar, está el tema de las licencias. Si bien GNS3 y Dynamips/Dynagen son programas gratuitos, no lo son las licencias de los sistemas operativos de los dispositivos de Cisco o Juniper. Por lo tanto, las prácticas de laboratorio podrán utilizar IOS o JunOS siempre que la Universidad disponga efectiva y legalmente de dichas imágenes del firmware del sistema operativo y, obviamente, estas imágenes no pueden ser entregadas a los estudiantes para actividades fuera del aula. Otro detalle importante es el consumo de recursos de los emuladores. Hemos comprobado que topologías con más de cinco o seis routers pueden ser bastante pesadas para ejecutarse sobre un PC estándar. Por todo esto, nos pareció importante buscar alternativas a los routers de Cisco y Juniper, y las encontramos.

3.2. Un router de código abierto: XORP

XORP son las siglas de eXtensible Open Router Platform, un proyecto GNU para la creación de una plataforma de código abierto que permite la creación de dispositivos de interconexión software multipla-

taforma. XORP tiene una arquitectura modular y flexible, que permite implementar distintos protocolos de encaminamiento, los cuales se cargarán y ejecutarán cuando sea requerido por el administrador del dispositivo.

La versión con la que se ha trabajado en nuestra propuesta para laboratorios (1.6) incluye los siguientes módulos de protocolos y tecnologías de red: RIP (Routing Information Protocol), OSPF (Open Short-Path First), BGP (Border Gateway Protocol), multicast, IGMP (Internet Group Management Protocol), MLD (Multicast Listener Discovery), SNMP (Simple Network Management Protocol) y cortafuegos. XORP se distribuye de manera gratuita desde su página web a través de live CD o como fuentes para Windows y Unix/Linux. De nuevo, y siguiendo nuestra propuesta, XORP podría ser virtualizado sobre el ordenador anfitrión que esté ejecutando GNS3. Para ello, se puede recurrir a cualquier plataforma de virtualización del mercado. En nuestro caso, hemos hecho pruebas con VirtualBox [3], de licencia libre y que ha resultado consumir menos recursos al ejecutar XORP que un emulador Dynamips/Dynagen ejecutando, por ejemplo, una IOS de Cisco.

Hay que destacar que las soluciones de virtualización no sólo consisten en emular sistemas operativos o máquinas dentro de un anfitrión, si no que también es posible crear redes para interconectar dichas máquinas virtuales. Para crear estas redes virtuales se ha hecho uso de interfaces de kernel tipo TAP, que son reconocidas por VirtualBox. En nuestro caso, se han configurado puentes de nivel dos para establecer la conexión entre las interfaces de las máquinas virtuales que ejecutan el router XORP.

El ejemplo presentado en la figura 2 imita al mostrado en la figura 1 del apartado anterior con la salvedad de que se hace uso de máquinas virtuales con XORP y de las interfaces y puentes necesarios para establecer las conexiones. En líneas de color rojo se muestran los enlaces que están siendo simulados por el resto de componentes. Para estudiar el tráfico de paquetes que circulan por esta red virtualizada, un analizador de protocolos tipo Wireshark puede escuchar directamente a través de la interfaz TAP deseada, puesto que aparecen disponibles en el sistema operativo.

Con respecto a las diferencias entre la configuración de un router tipo Cisco y uno XORP, los estu-

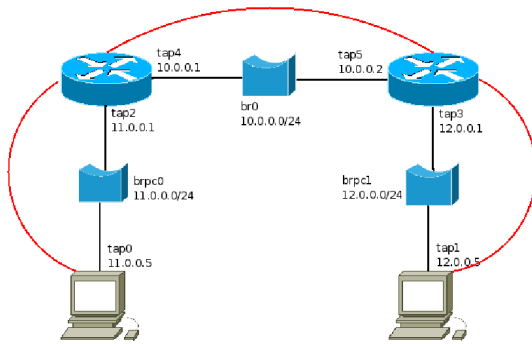


Figura 2: Uso de interfaces TAP y bridges para crear redes virtuales con XORP

diantes se encuentran con una consola de configuración similar (CLI o command-line interpreter). La única diferencia reseñable, y que no afecta a la funcionalidad de las actividades de prácticas es que en XORP los protocolos se configuran para cada interfaz, al contrario que en los routers de Cisco donde en el protocolo se indica para qué interfaces estará activo.

Como se ha comentado anteriormente, las pruebas realizadas con XORP han sido muy satisfactorias, y el consumo de recursos en el PC anfitrión se reduce considerablemente al usar routers XORP, por lo que las topologías pueden contener más elementos y realizar tareas de encaminamiento más complejas. XORP no tiene todas las capacidades de un router comercial, pero los protocolos de que dispone son más que suficientes para un buen curso de administración y configuración de redes a nivel de grado en Informática.

Obviamente, sería deseable combinar las fortalezas de GNS3 para creación y gestión de topologías a nivel visual y XORP con su bajo consumo y carencia de licencias propietarias. Para poder usar XORP como router dentro de GNS3 hemos hecho uso de las capacidades de este último para conectarse al exterior mediante interfaces NIO TAP. De esta forma, utilizamos el elemento *nube* de GNS3 y se selecciona el TAP adecuado, que aparece disponible en su menú de configuración. El resultado sigue siendo intuitivo y sencillo para los estudiantes, puesto que su PC de laboratorio contendrá: la herramienta GNS3, las imágenes de routers de emulación con Dynmips/Dynagen y/o las imágenes de routers XORP

como máquinas virtuales de VirtualBox juntos a los correspondientes interfaces TAP preconfigurados.

3.3. PCvirtual en el Campus Virtual

El proyecto de PCvirtual de la Universidad de Málaga se desarrolló en el marco del proyecto de la Junta de Andalucía denominado *Universidad Digital*. En dicho proyecto se estableció que se iban a compartir asignaturas de libre configuración entre las diez universidades andaluzas. Al compartir la docencia totalmente no presencial se vio la necesidad de que programas informáticos y recursos necesarios en dichas asignaturas fueran utilizados por los alumnos de otras universidades. Esto hizo que se desarrollara un sistema para que los alumnos de las otras universidades accedan remotamente a programas, evitando que tengan que ser instalados en todas las universidades. El sistema que se ideó es lo que llamamos PCvirtual. Este consiste en una infraestructura de máquinas virtuales que se crean dinámicamente y mediante el acceso con el protocolo RDP (Remote Desktop Protocol). La infraestructura la componen un broker que gestiona las máquinas virtuales creadas en VMware ESX. Esta misma instalación es la elegida también para las prácticas de las asignaturas presenciales. Con esto se consigue que los estudiantes tengan acceso remoto a la máquina virtual con la instalación necesaria para ejecutar GNS3, XORP y TAP, evitando así los problemas de instalación de versiones incorrectas y replicación del entorno de laboratorio en casa.

4. Actividades y ejemplos de uso

Para que los estudiantes puedan habituarse con rapidez al entorno de trabajo propuesto, se ha creado un manual de uso en el que se presentan las posibilidades de la herramienta y se presentan topologías de ejemplo y la configuración de equipos para distintos protocolos de encaminamiento. Estos ejemplos incrementan gradualmente su dificultad y van, desde los más básicos de interconexión (tablas de encaminamiento estáticas) hasta la configuración de routers mediante RIP, BGP, OSPF. También se incluyen otras configuraciones avanzadas relacionadas con tecnologías Frame Relay y ATM (Asynchronous Transfer Mode).

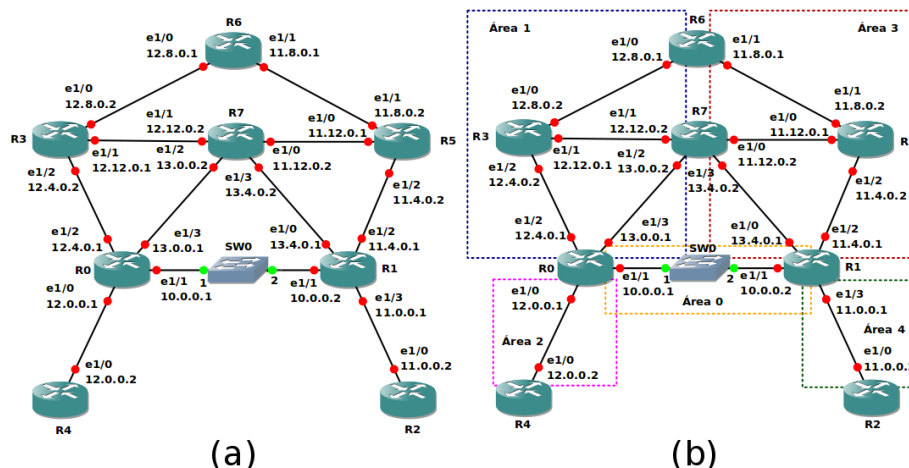


Figura 3: Ejemplo de uso de OSPF

Por ejemplo, los laboratorios presentados en la figura 3 hacen uso del protocolo OSPF con el fin de estudiar cómo emplea este protocolo el algoritmo de Dijkstra para buscar el mejor camino para los paquetes, teniendo en cuenta factores como la carga de los enlaces o el destino del datagrama. La figura presenta dos casos para conocer la importancia de la división en áreas: en un primer laboratorio se ha probado la red sin ninguna división (a), y en el segundo se ha descompuesto ésta en cinco regiones (b).

En otros laboratorios se proponen también topologías con tecnologías mixtas, es decir, con routers de distintos fabricantes, de forma que los estudiantes pueden comprobar su interoperabilidad gracias a los protocolos de encaminamiento estándar.

En otros ejemplos más avanzados, como en el laboratorio presentado en la figura 4, se puede combinar la creación de redes privadas virtuales (CE_1/PE_1 y CE_2/PE_2, en la figura) sobre redes gestionadas por MPLS (Multi-Protocol Label Switching) con salida al exterior a través de una pasarela (GW).

Con todo, se ha planificado una pequeña experiencia piloto para obtener los primeros resultados, tal y como se muestra en el cuadro 1. Los contenidos abarcan tanto sesiones de laboratorio presenciales como no presenciales. Las primeras se realizan al principio y presentan el entorno de laboratorio y

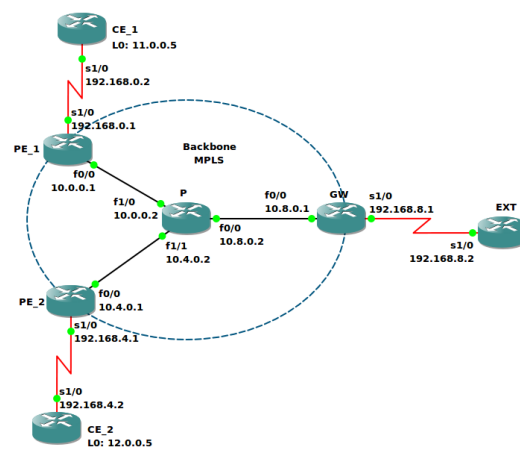


Figura 4: Ejemplo de uso de VPN

las herramientas para que el estudiante aborde las siguientes tareas. La configuración de los laboratorios propuestos se puede hacer de forma no presencial, teniendo en cuenta que el contexto de partida asume conocimientos previos acerca de los protocolos y algoritmos de encaminamiento a utilizar para la resolución de las actividades. Como se comentó antes, los entregables para la evaluación deben incluir tanto los proyectos de GNS3 como cada archivo de configuración de los routers que componen la red pro-

Actividad	Descripción	Horas	Carácter
Introducción	Conceptos de Virtualización y GNS3. Infraestructura de laboratorio	2	presencial
Interfaces	Manejo de consola (IOS) de los routers	2	presencial
Administración	Analizadores de protocolos y comandos de depuración (debug, ping, ...)	1	presencial
Encaminamiento (I)	Activación de interfaces y rutas estáticas. Activación de RIP y depuración	2	no presencial
Encaminamiento (II)	Activación de OSPF y depuración	3	no presencial

Cuadro 1: Planificación y contenidos de la experiencia piloto

puesta en cada ejercicio.

5. Trabajos y propuestas relacionadas

Las soluciones basadas en virtualización están siendo cada vez más demandadas en la industria por su importante reducción de costes en infraestructura y gestión de servidores. En la Universidad también se están haciendo esfuerzos importantes, que no se reducen a un contexto local de laboratorios o asignaturas concretas. Basta con entender el impulso que ha representado, por ejemplo, el proyecto de *Andalucía Digital* para entender que la virtualización juega y jugará un papel muy destacado en el Espacio Europeo de Educación Superior.

En el contexto de los laboratorios de redes, el proyecto más completo y de mayor relevancia a nivel internacional lo constituye VNUML (Virtual Network User Mode Linux) [7, 8], que ha servido de punto de partida e inspiración para la solución adoptada en la Universidad de Málaga. VNUML es una herramienta de virtualización que permite la definición y pruebas de escenarios de simulación de redes. Orientada a Linux, se apoya en el software de virtualización UML (User Mode Linux), que permite ejecutar máquinas virtuales Linux desde otro Linux anfitrión. La herramienta VNUML está formada por dos componentes: el lenguaje VNUML para describir simulaciones (topologías y guiones de ejecución) en XML, y el intérprete en línea de comandos, que ejecuta el escenario de forma automática, sin intervención por parte del usuario. Nuestra apuesta por GNS3 está fundamentada por su simplicidad, al ser una herramienta completamente visual y multiplataforma, pero VNUML permite opciones para configuraciones complejas en Linux muy interesantes.

Respecto a las tecnologías para virtualización, existen algunas opciones diferentes a VirtualBox y VMWare que son de alto rendimiento en Linux y de código abierto, como KVM [9] y OpenVZ [10]. Alguna de estas tecnologías puede convertirse en una opción futura para virtualizar imágenes de routers minimizando los recursos de la máquina anfitriona.

Por último, y muy recientemente, algunos fabricantes de equipos de interconexión han liberado sus sistemas operativos a licencias de código abierto. Tal es el caso de los routers de MikroTik [11] y Vyatta [12]. El caso de Vyatta es destacable, puesto que permite descargar un router de amplia funcionalidad (aunque, por ahora, no soporta protocolos de enrutamiento multicast como sí hace XORP) basado en la suite Quagga [13] para FreeBSD, Linux, Solaris y NetBSD.

6. Conclusiones

La virtualización de laboratorios constituye una baza importante para cumplir los requisitos de aprendizaje activo del EEES. Una buena infraestructura de virtualización proporcionada por la Universidad permite, primero a los docentes, preparar material práctico que depende de instalaciones software y hardware complejas, en forma de máquinas virtuales. Estas máquinas serán utilizadas por los estudiantes de una forma cómoda tanto en el aula como de forma no presencial, a través de los portales de Campus Virtual, con un importante ahorro en costes de infraestructura (crítico en el caso de los equipos de interconexión para redes) y tiempo (de instalación de software en casa y acceso a laboratorios por turnos, por ejemplo). En el artículo se han presentado las soluciones que van a ser adoptadas en la Univer-

sidad de Málaga para los grados en Informática y el Máster de Telemática y Redes de Telecomunicación, buscando la obtención de un entorno amigable apto para realizar laboratorios y prácticas realistas de redes tanto en modo presencial como no presencial. Mientras implantamos y evaluamos la experiencia por primera vez en este curso, seguimos trabajando en incorporar equipos de interconexión virtuales con más funcionalidad y, actualmente, se están evaluando las posibilidades del router de código abierto de Vyatta. También se están realizando pruebas para determinar qué configuraciones son más adecuadas para minimizar el consumo de recursos en el PC virtual.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la ETSI Informática y a Enseñanza Virtual y Laboratorios Tecnológicos de la Universidad de Málaga el apoyo y estímulo para el estudio e implantación de estas soluciones para virtualización de laboratorios de redes.

Referencias

- [1] Graphical Network Simulator, *GNS3*, disponible en <http://www.gns3.net>, 2011.
- [2] Handley, M., Kohler, E., Ghosh, A., Hodson, O., and Radoslavov, P., *Designing extensible IP router software*, Proceedings of the 2nd conference on Symposium on Networked Systems Design & Implementation - Volume 2, pp. 189–202, 2005.
- [3] Oracle, *VirtualBox*, disponible en <http://www.virtualbox.org>, 2011.
- [4] Riverbed Technology, *WireShark protocol Analyzer*, 2011
- [5] VMware, *VMware virtualization solutions*, disponible en <http://www.vmware.com>, 2011.
- [6] Fillot, C., *Dynamips: Cisco 7299 Simulator*, disponible en <http://www.ipflow.utc.fr/blog/>, 2011.
- [7] Galán, F., Fernández, D., *Virtual Network User Mode Linux (VNUML)*, disponible en <http://neweb.dit.upm.es/vnumlwiki>, 2011.
- [8] Ruíz, F., Fernández, D., Galán, F., Bellido, L., *Modelo de Laboratorio Docente de Telemática basado en Virtualización Distribuida*, VII Jornadas de Ingeniería Telemática (JITEL 2008), Alcalá de Henares (Madrid), 2008
- [9] RedHat Emerging Technology Project, *Kernel Based Virtual Machine*, disponible en <http://www.linux-kvm.org>, 2011
- [10] OpenVZ, *OpenVZ: container based virtualization for Linux*, disponible en <http://wiki.openvz.org>, 2011
- [11] MikroTik *MikroTik routers & wireless*, disponible en <http://www.mikrotik.com>, 2011
- [12] Vyatta *Vyatta Open Networking*, disponible en <http://www.vyatta.com>, 2011
- [13] The Quagga Project *Quagga Software Routing Suite*, disponible en <http://www.quagga.net>, 2011