

# Enseñanza práctica de Arquitectura de Redes mediante la Virtualización de Escenarios de Red

Antonio Ruiz-Martínez y Pedro M. Ruiz Martínez

Depto. Ingeniería de la Información y las Comunicaciones, Facultad de Informática,  
Campus de Espinardo, Universidad de Murcia  
arm@um.es, pedrom@um.es

**Resumen** La adquisición de competencias relacionadas con los temas de arquitectura de redes tales como el enrutamiento es un aspecto fundamental en un grado de informática. Para la adquisición de estas competencias se necesita disponer de escenarios de red con un número considerable de componentes físicos tales como routers, switches, etc. Sin embargo, en la mayoría de los casos no resulta sencillo debido al coste económico o a la gestión de estos componentes. Una posible solución a este problema es la virtualización. En este artículo presentamos la experiencia docente llevada a cabo en la facultad de informática de la universidad de Murcia para formar a los estudiantes en temas de enrutamiento por medio de este tipo de herramientas. En el artículo presentamos la metodología seguida a lo largo de estos años, los problemas a los que nos hemos enfrentado y cómo los hemos ido solucionando para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje. Esta experiencia puede resultar de utilidad para los interesados en abordar la enseñanza práctica por medio de la virtualización.

**Keywords:** redes, virtualización, enrutamiento, prácticas

## 1. Introducción

En el diseño de los grados de Ingeniería en Informática uno de los aspectos esenciales para la formación de los estudiantes es la adquisición de conocimientos y competencias relacionadas con la arquitectura de Internet, los protocolos de comunicación y establecimiento de servicios a través de esta red así como los distintos aspectos relacionados con su gestión y calidad de servicio. En general, la formación en estos aspectos supone el diseño de varias asignaturas en los grados. En particular, en la Facultad de Informática de la Universidad de Murcia, los conocimientos básicos de redes que se le enseñan a todos los estudiantes de grado los podemos ubicar en tres asignaturas: Redes, Arquitectura de Redes y Servicios Telemáticos. De estas tres asignaturas, la asignatura que proporciona, principalmente, la formación acerca de la arquitectura de Internet y cómo los protocolos de enrutamiento realizan el proceso de convergencia para aprender la topología de redes se realiza en la asignatura de arquitectura de redes.

El enseñar de una forma práctica cómo funcionan los protocolos de enrutamiento, cómo se configuran y cómo se produce el proceso de convergencia

es un reto ya que el despliegue de escenarios realistas que faciliten el proceso de enseñanza-aprendizaje requiere un número considerable de componentes (conexiones de redes, switches, hubs, routers, etc), lo que conlleva tanto una importante inversión económica como una compleja y poco flexible gestión de los laboratorios y grupos de alumnos. El trabajar con este tipo de equipamiento limita el número de alumnos que pueden trabajar el paralelo (lo que supone el trabajo en pequeños grupos) y el tiempo en que los alumnos pueden trabajar con la infraestructura realizando tareas de configuración, administración, pruebas de conectividad o simplemente de monitorización para ver cómo se comportan los protocolos de enrutamiento ante diversas circunstancias [8,10].

Afortunadamente en los últimos años la capacidad de cómputo los ordenadores ha aumentado y ha permitido la introducción de técnicas de virtualización que nos permiten emular distintos tipos de elementos, entre ellos, los componentes de una red. Además, a día de hoy, nos permiten poder emular una infraestructura de red con múltiples nodos en un solo ordenador. Esto ha facilitado que estas técnicas se hayan podido adoptar de forma exitosa para el desarrollo de laboratorios virtuales de red y que éstos además se puedan utilizar en los procesos de enseñanza-aprendizaje [10,4,2,6,5,11].

En la Facultad de Informática de la Universidad de Murcia (FIUM) apostamos hace ya varios años por este enfoque y, en este artículo, presentamos cómo utilizamos estas herramientas para que nuestros alumnos aprendan los principales conceptos de redes relacionados con arquitectura de redes y los protocolos de enrutamiento. En concreto, presentamos la organización actual de la asignatura, cómo se realiza la enseñanza práctica de estos conceptos, los resultados obtenidos y las experiencias obtenidas a lo largo de estos años.

La estructura de este artículo es la siguiente: en sección 2 se presenta la asignatura de Arquitectura de Redes. En la sección 3 se presentan en detalles las prácticas de esta asignatura indicando objetivos, herramientas de trabajo, metodología, etc. Finalmente, en la sección 4 se presentan las conclusiones y posibles vías futuras.

## 2. La Asignatura de Arquitectura de redes en la UM

La asignatura de Arquitectura de Redes<sup>1</sup> (AR) del Grado de Ingeniería Informática de la Universidad de Murcia tiene una carga de 6 ECTS y se encuentra ubicada en el primer cuatrimestre del tercer curso. Esta asignatura es parte de la materia: Sistemas Operativos, Sistemas Distribuidos y Redes que está formada por 5 asignaturas. En concreto, Introducción a los Sistemas Operativos, Redes de Comunicaciones, Ampliación de Sistemas Operativos, Arquitectura de Redes y Servicios Telemáticos.

En el desarrollo de la materia, previo a esta asignatura está la asignatura de Redes de Comunicaciones en la que los estudiantes aprenden los conceptos básicos de redes, centrándose especialmente en los tres primeros niveles de las

---

<sup>1</sup> [https://aulavirtual.um.es/sumugdocente-toolguiahtml1908\\_2014\\_G\\_E](https://aulavirtual.um.es/sumugdocente-toolguiahtml1908_2014_G_E)

capas de redes, presentando en detalle el nivel físico, el de enlace y el de red. Además, se presentan las nociones básicas del protocolo de transporte TCP.

De forma global la asignatura lo que pretende que los alumnos tengan capacidad de diseñar, administrar, comprender y configurar protocolos para redes de comunicaciones en lo referente a encaminamiento, control de congestión, multicast y aspectos avanzados de TCP, así como unas nociones de calidad de servicio e ingeniería de tráfico.

De forma más concreta, los resultados de aprendizaje establecidos para la asignatura son:

- RA1: Utilizar los conceptos fundamentales referentes al encaminamiento, control de congestión y funcionamiento de la pila de protocolos.
- RA2: Adquirir una visión general de los diferentes factores que afectan el diseño de los protocolos y las redes de comunicaciones, que le permitan analizar y evaluar las diferentes alternativas de diseño para cada tipo de red.
- RA3: Comprender el funcionamiento de la pila de protocolos TCP/IP, y los protocolos relacionados de nivel de red y transporte incluyendo aquellos para la provisión de servicios multidestino, calidad de servicio y movilidad y el nuevo protocolo de red IPv6.
- RA4: Diseñar y poner en marcha redes de comunicaciones, analizando los requisitos específicos, y seleccionando las soluciones más interesantes en cada caso.
- RA5: Configurar y administrar equipamiento de red para que realice las funciones necesarias según el diseño de red.
- RA6: Identificar y resolver problemas y fallos en las redes de comunicaciones, y desviaciones del comportamiento esperado de los protocolos de comunicaciones.
- RA7: Comprender las posibilidades que las redes y las comunicaciones pueden ofrecer a las sociedades menos industrializadas para incrementar la competitividad.

Los contenidos formativos se han dividido en una serie de temas. En concreto, los temas son:

- TEMA 1. Introducción a la arquitectura y organización de las redes de comunicaciones.
- TEMA 2. Algoritmos y protocolos de encaminamiento.
- TEMA 3. IP Multicast.
- TEMA 4. Aspectos avanzados del protocolo TCP.
- TEMA 5. Control de tráfico y control de congestión.
- TEMA 6. Ingeniería de tráfico.
- TEMA 7. Tendencias en arquitecturas de red.

Las prácticas están centradas en los siguientes aspectos:

- Introducción al software de prácticas GNS3.
- Protocolos de encaminamiento.

- Resolución de casos prácticos de diseño y configuración de red.

El contenido y la estructura de las prácticas se pone en más detalle en la siguiente sección. El objetivo de las practicas están relacionados con los resultados de aprendizaje RA4 a RA6.

Para el desarrollo de los aspectos teóricos y prácticos de la asignatura la carga asignada es la que aparece en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Actividades y carga asignada

Actividad	Horas presenciales	Trabajo autónomo
Clases presenciales de teoría	24	66
Seminarios y resolución de problemas	7	13
Prácticas	12	21
Tutorías y revisiones de prácticas	2	7
Examen final	3	-

En base a estas actividades y distribución de horas, se realizó la planificación de la asignatura en semanas que se muestra en la Tabla 2, teniendo en cuenta que cada semana hay 2 horas de clase y 1 hora y 40 minutos de laboratorio.

**Tabla 2.** Planificación por semanas de la asignatura

Semana	Teoría
1	Tema 1. Introducción
2	Tema 2. Routing
3	Tema 2. Routing
4	Tema 3. IP Multicast
5	Tema 3. IP Multicast
6	Tema 4. TCP Avanzado
7	Tema 4. TCP Avanzado
8	Tema 4. TCP Avanzado
9	Boletín 1 de problemas
10	Tema 5. Control Congestión
11	Tema 5. Control Congestión
12	Tema 6. Ing. de Tráfico
13	Tema 7. Tendencias futuras
14	Boletín 2 de problemas

Las sesiones de prácticas que aparecen como trabajo tutelado práctica final, son sesiones en las que los alumnos van trabajando en la resolución del enunciado de prácticas en base a los conceptos explicados en sesiones anteriores, contando con la tutorización del profesor de prácticas en el laboratorio.

### 3. Prácticas de Arquitectura de redes en la UM

En esta sección se presenta, de forma más detallada, los distintos aspectos relacionados con las prácticas de la asignatura AR. En concreto, presentaremos los objetivos, indicaremos las herramientas utilizadas para las prácticas, comentaremos la metodología seguida, detallaremos la planificación de las sesiones, presentaremos los escenarios desarrollados a lo largo de los distintos cursos, indicaremos cómo se realiza la evaluación y, finalmente, presentaremos los resultados obtenidos.

#### 3.1. Objetivos

El principal objetivo de las prácticas de AR ha sido que los alumnos sean capaces de entender los procesos de enrutamiento y de configurar un router con los principales protocolos existentes. De esta forma los alumnos podrían afianzar los conceptos aprendidos en las sesiones de teoría y poder comprobar mediante distintos escenarios el funcionamiento y las diferencias de funcionamiento entre protocolos de vector de distancia frente a estado de enlace. En concreto, se pretende evaluar que los alumnos consiguieran los resultados de aprendizaje RA4, RA5 y RA6 descritos anteriormente.

En cursos anteriores, adicionalmente, se trabajaba con los protocolos de enrutamiento externo o pasarela. Sin embargo, decidimos quitarlos por dos motivos. Por un lado, porque consideramos que el conocimiento de la configuración y manejo de los protocolos de enrutamiento pasarela no corresponde con nivel de grado. Por otro lado, la explicación y uso de estos protocolos da lugar a escenarios complejos que hacía que se sobrepase la carga de trabajo asignada a las prácticas.

#### 3.2. Herramientas de trabajo

Para poner en práctica estos conocimientos es necesario disponer de topologías más o menos complejas en la que intervengan distintos elementos de red como conexiones, switches o routers. Sin embargo, en la facultad no se disponían del equipamiento suficiente, por lo que se decidió que el desarrollo de las distintas topologías sería realizado por medio de una herramienta de virtualización que permita trabajar con alguna solución que se aplique en escenarios reales.

La herramienta de virtualización de redes elegida es GNS3 (Graphical Network Simulator) [1] debido a que tiene un entorno de trabajo basado en GUI que es bastante intuitivo y, además, es un entorno de virtualización que soporta diferentes fabricantes de forma que se pueden configurar y utilizar distintos componentes de red basados en CISCO, Juniper, HP, Arista, Citrix y Brocade. Esta herramienta la estamos utilizando con resultados positivos desde el curso 2010-2011.

Anteriormente, la herramienta de trabajo que utilizábamos era VNUML [3,13], que estaba basada en la virtualización de nodos Linux. Con esta herramienta y en base a algunas modificaciones que se hicieron al sistema ficheros y que dieron

lugar al sistema VNUML-UM [9,11], estuvimos trabajando durante los cursos 2009-10, 2010-11 y 2011-12 en la titulación de Ingeniería Informática de forma bastante exitosa tanto en esta asignatura como en la asignatura de Arquitectura de Redes Avanzadas [11].

Sin embargo, con la aparición de GNS3 se vió que el uso de VNUML no era tan intuitiva ya que la configuración se realizaba a través de ficheros de configuración, especificados en un lenguaje XML que requería que los alumnos aprendieran, lo que hacía que la introducción al entorno llevase más tiempo que GNS3. Otro aspecto que no es tan intuitivo en VNUML es la gestión de la captura de tráfico. Finalmente, también es de reseñar los problemas asociados con la instalación y el lanzamiento y parada de los escenarios, que dificultaban que los alumnos se lo pudieran instalar en casa. Más detalles acerca de las ventajas y desventajas del uso de GNS3 frente a VNUML se pueden encontrar en [7]. Además, en [7] también se presenta la valoración de los estudiantes con respecto al uso de cada herramienta, mostrando que la satisfacción de los estudiantes con GNS3 es mucho mayor que con VNUML.

### 3.3. Metodología

En las sesiones prácticas el profesor, en primer lugar, presenta las prácticas y la metodología a seguir. A continuación, se explica el funcionamiento del entorno de trabajo con GNS3 y la configuración de routers. Una vez conocido el entorno, se realiza un recordatorio de los conceptos de direccionamiento y se pone en práctica el uso del entorno. Bajo estas condiciones se explica el enunciado de la práctica final. A partir de ahí, en cada una de las sesiones se realiza la explicación de los principales conceptos asociados a cada uno de los aspectos de enrutamiento que los alumnos tienen que conocer y aplicar para realizar la práctica final. En la siguiente sección se puede encontrar una planificación de los conceptos abordados en cada sesión.

El que la práctica final se conozca desde el principio y que en las sesiones prácticas se vaya trabajando paulatinamente se ha realizado de forma exitosa por primera vez este curso (2014-2015), como se comprobará posteriormente. Anteriormente, la práctica final se presentaba una vez explicados los principales conceptos necesarios para su realización y asociado a cada sesión se proponían una serie de actividades que eran independientes de la práctica final y que servía para que los alumnos trabajasen los conceptos aplicados. Este enfoque suponía que, de forma progresiva, los alumnos sólo asistieran a la explicación práctica y que no realizaran los ejercicios propuestos, prefiriendo dedicar el tiempo a otras asignaturas que seguían una metodología de entrega/evaluación continua. En nuestro caso, no consideramos que sea necesario realizar evaluación continua para competir con otras asignaturas, pero que sí que era necesario fomentar que el trabajo que realizaran les sirviese para la práctica final y así continuaran trabajando en la práctica sin la presión de la entrega o la nota.

En general, en cada sesión una vez realizada la explicación, se deja tiempo para que el alumno empiece a trabajar los nuevos conceptos o pueda continuar con el trabajo realizado en las sesiones previas si no lo terminó.

Para facilitar el aprendizaje de los distintos conceptos, se han desarrollado una serie de boletines de prácticas donde se explican en detalle los principales conceptos y comandos necesarios para la realización de las prácticas. Una versión inicial de estos boletines está disponible a través de OCW (OpenCourseWare) que se desarrolló para la asignatura [12]. Dicho OCW se realizó para facilitar que los distintos materiales desarrollados en la asignatura no sólo estén disponibles para nuestros alumnos sino para cualquier otro profesor o alumno que esté interesado en aprender y practicar los mismos conceptos, contenidos y trabajar competencias similares. Durante las sesiones, se explican los principales aspectos que aparecen reflejados en estos boletines. Para el desarrollo de estas explicaciones se utilizan transparencias y la interacción con topologías de red virtualizadas. En cursos anteriores se dejaban disponibles a los alumnos. Sin embargo, en los dos últimos años se optó por no dejarlas y remitir a los alumnos a los boletines ya que cuando los alumnos disponen de las transparencias, en general, no leen los boletines y eso conlleva a que comentan errores durante la configuración de las prácticas o no terminen de entender lo que estén realizando. Se ha observado que el no dejar las transparencias ha tenido efectos positivos.

Para la realización de las prácticas se fomenta que los alumnos la realicen en parejas, aunque en casos excepcionales se les permite que la realicen de forma individual.

Una vez realizadas las prácticas, éstas se entregan a través del aula virtual de la Universidad de Murcia que está basada en el sistema Sakai.

### 3.4. Planificación de las sesiones

A continuación, se indican las distintas sesiones prácticas teniendo en cuenta una planificación de 14 semanas.

- S1: No hay sesión presencial. Se deja a los alumnos una serie de video tutoriales acerca de la herramienta de virtualización con la que se va a trabajar (GNS3) y cómo realizar su instalación.
- S2: Introducción a la herramienta GNS3 y la administración de routers.
- S3: Repaso de los conceptos básicos de direccionamiento e introducción de VLSM y CIDR. Trabajo de la configuración de hosts en GNS3 y repaso de los principales comandos de configuración/administración de redes en Linux.
- S4: Sesión dedicada a RIP y su configuración. Explicación de la parte de direccionamiento del enunciado final. Tiempo para que empiecen a trabajar en la práctica y resolución de dudas.
- S5: Explicación de la parte de RIP del enunciado final. Tiempo para que los alumnos continúen trabajando en la práctica y resolución de dudas.
- S6: Sesión dedicada a los conceptos básicos de OSPF y su configuración.
- S7: Sesión dedicada a los aspectos avanzados de OSPF y su configuración. Explicación de la parte de OSPF del enunciado final. Tiempo continúen trabajando en la práctica.
- S8: Sesiones dedicadas a que los alumnos continúen con la práctica y resolución de dudas.

- S9: Sesión dedicada a explicar los aspectos de redistribución de rutas entre RIP y OSPF. Explicación de los aspectos asociados a este tema en la práctica final. Tiempo continúen trabajando en la práctica y resolución de dudas.
- S10-S13: Sesiones dedicadas a que los alumnos continúen con la práctica y resolución de dudas.
- S14: Entrega y entrevistas de prácticas.

Con esta planificación da tiempo a explicar los conceptos necesarios para su realización, el enunciado de la práctica y para que puedan realizar una parte importante de la práctica en el aula de forma que el tiempo de trabajo autónomo se ajuste a lo planificado en las prácticas. En la parte de evaluación se explicará en más detalle los aspectos relacionados con la evaluación de la práctica la última semana.

### 3.5. Escenarios desarrollados

El escenario de trabajo desarrollado durante este último curso y que aparece en la Figura 1 consiste en 2 campus interconectados. Para cada uno de los campus se les da una serie de bloques de direcciones contiguos para que, a partir de ellos, tengan que realizar el direccionamiento (así trabajan VLSM). Además, en el Campus A se les indica que configurar el protocolo de enrutamiento RIP. En el Campus B se les pide que configuren el protocolo de enrutamiento OSPF. Finalmente, también se les indica que mediante la interconexión de RIP-OSPF se permita que ambos estén interconectados y que ambos aprendan las rutas de otro sistema.

En el Campus B además se pide que se configuren distintos tipos de áreas OSPF: stub area y totally stub area. Asociado al uso de áreas en OSPF también se les pide que trabajen con el router designado.

Además, por cada campus, se piden una serie de ejercicios relacionados con la captura de tráfico y que permiten comprobar el comportamiento de los protocolos. Por ejemplo, en RIP se pide que se muestre el funcionamiento de split horizon, triggered updates y poison reverse. En OSPF información de los distintos LSA dependiente del tipo de área. Estas preguntas tiene el objetivo de que los alumnos puedan ver de forma práctica el funcionamiento de los protocolos que se les explica en las clases de teoría y que les sirva para asentar los conocimientos aprendidos. La inclusión de estas preguntas ha resultado bastante positivo ya que luego cuando en la parte teórica (que tiene una parte con un examen tipo test) se les ha preguntado por aspectos relacionados a los trabajados, las respuestas han sido, en general, bien respondidas.

A diferencia de cursos anteriores, en este curso no se ha trabajado con el protocolo BGP (ver Figura 3 - práctica 2 del curso 2012/13 - y Figura 4 - práctica final del curso 2013/14) con el fin de simplificar el trabajo a realizar y que éste se ajuste a la carga de trabajo asignada a prácticas. Con respecto a la carga de trabajo, decir que este año le pedimos a un grupo de alumnos que anotase el tiempo dedicado a la parte práctica. El resultado obtenido es que la



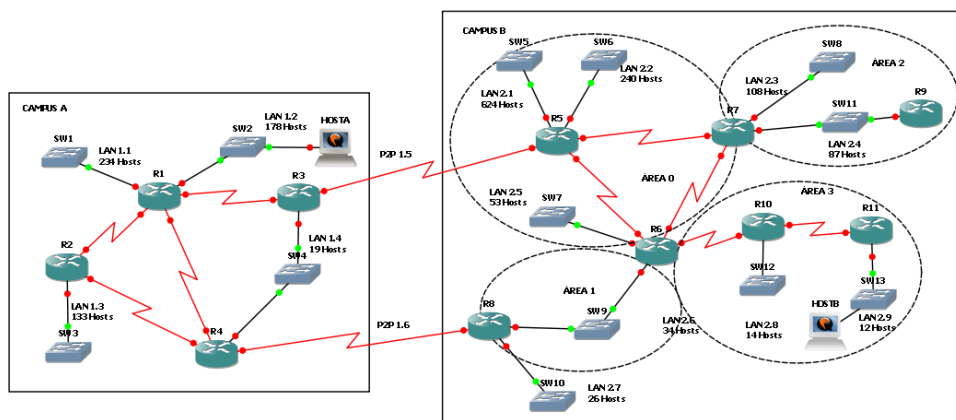


Figura 1. Topología final curso 2014-2015

carga de la parte práctica está más ajustada aunque quizá haya que hacer alguna pequeñas disminución en cuanto a los ejercicios requeridos.

Otro aspecto importante que ha cambiado ha sido el número de prácticas. En el curso 2012-2013 teníamos dos prácticas: una dedicada a direccionamiento y protocolos de enrutamiento interno y, otra dedicada a enrutamiento intradominio con BGP. Este enfoque vimos que tenía varios inconvenientes. El primero es que los alumnos tienen que trabajar con dos topologías diferentes lo que hace que tengan que volver a repetir pasos como el direccionamiento o, aunque básica, la configuración de los protocolos de enrutamiento interno. Además, pues supone la entrega de dos memorias y luego a la hora de hacer las entrevistas pues cargar dos topologías distintas. Todo esto hace que al final los alumnos no dediquen todo el tiempo asignado a prácticas a lo fundamental que es el aprendizaje de los distintos conceptos de redes y su configuración. Por esta razón, este último curso se ha integrado todo en un escenario que se puede realizar de forma progresiva consiguiendo que se aproveche mucho más el tiempo.

### 3.6. Evaluación

Para la evaluación los alumnos tienen que entregar la topología desarrollada en GSN3 junto con los archivos de configuración de cada uno de los routers de la topología. Además, tienen que adjuntar una documentación donde se resuelvan las distintas cuestiones planteadas en el enunciado de la práctica relacionada con los protocolos de enrutamiento.

La evaluación de la práctica se realiza a partir de la documentación realizada y de una entrevista de aproximadamente unos 20 minutos que se realiza en el laboratorio. En dicha entrevista se pregunta a los alumnos sobre los principales aspectos relacionados con la resolución de la práctica, se les piden que realicen pruebas de conectividad y, algunos pequeños cambios para probar los cambios en

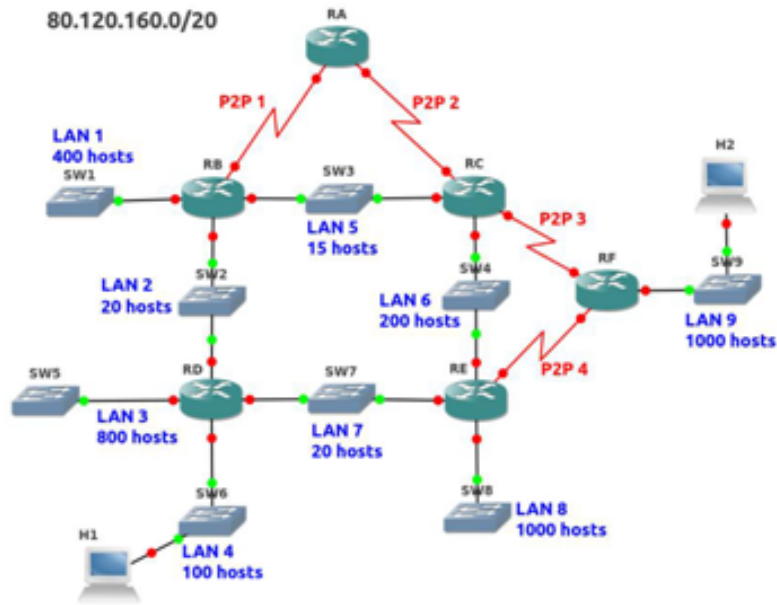


Figura 2. Topología de red de la práctica 1 del Curso 2012-2013

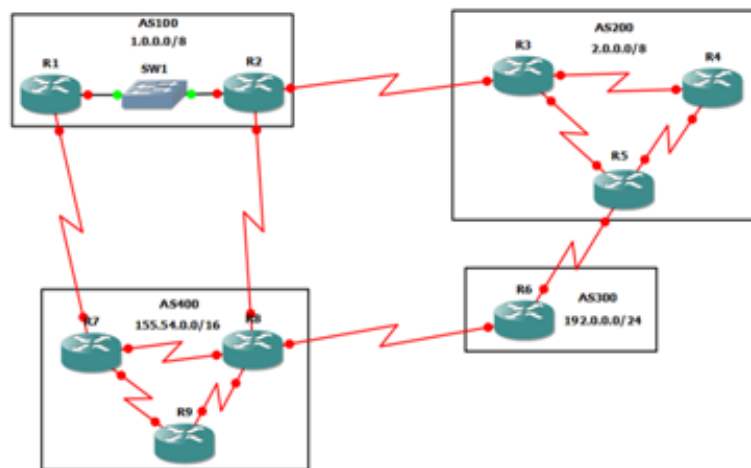
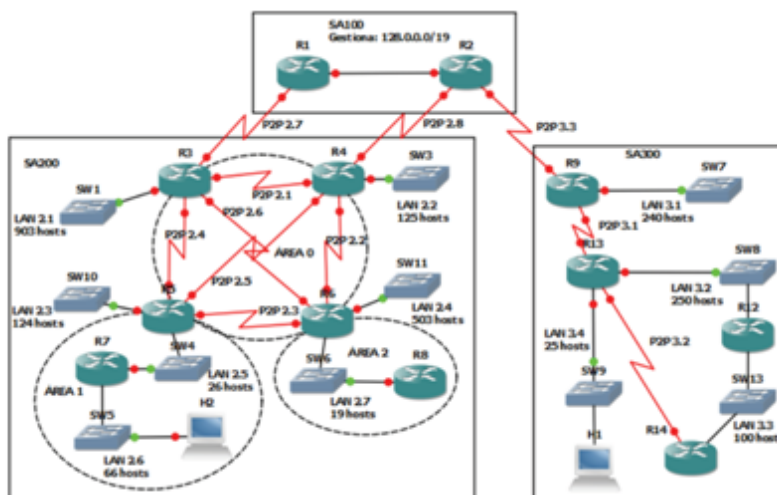


Figura 3. Topología de red de la práctica 2 del Curso 2012-2013



**Figura 4.** Topología de red de la práctica final del Curso 2013-2014

la topología y que los protocolos de enrutamiento reaccionan de forma adecuada ante caídas y cambios en el funcionamiento.

La entrevista, aunque se realiza en parejas, se les pregunta de forma individual a cada uno de los miembros de la pareja y, por tanto, en función de sus respuestas, pueden obtener una nota diferente. A los alumnos se les indica que el correcto funcionamiento de la práctica no garantiza el aprobado y que es necesario superar la entrevista, demostrando que se conocen los distintos aspectos que se piden, para poder superar la práctica. Esto hace que, en general, los alumnos vengan con la entrevista preparada y, además, permite comprobar si los dos miembros de la pareja han trabajado la práctica. Salvo casos particulares, los alumnos realizan el trabajo de forma conjunta, preparan la práctica y, finalmente, suelen obtener la misma nota.

En el cuatrimestre hay dos momentos donde se puede realizar la evaluación de la práctica y que se deja a elección del alumno. En primer lugar, se puede realizar la evaluación en la última sesión de prácticas, que coincide justo con la semana antes de vacaciones de Navidad. En el mes de enero, durante el período de exámenes. La primera opción decidimos ofrecerla para favorecer (y fomentar) el trabajo continuo. Aquellos alumnos que han ido realizando el trabajo durante las sesiones de prácticas se encuentran en esa semana la práctica finalizada. Además, al hacer la entrevista esa semana, por un lado, tienen el trabajo realizado reciente con lo que se facilita el preparar la entrevista. Por otro lado, los alumnos terminan con la parte práctica de la asignatura y durante el periodo de vacaciones, enero y el periodo de exámenes se pueden concentrar en estudiar la parte teórica de la asignatura.

Anteriormente, las entrevistas las realizábamos en el período de exámenes y veíamos como algunos alumnos abandonaban durante el período de prácticas o

algunos no venían suficientemente preparados a la entrevista y argumentaban que la habían hecho mucho tiempo y que no la habían podido preparar, etc.

El permitir que las entrevistas se puedan presentar la última semana ha tenido un efecto bastante positivo, ha motivado a los alumnos y están más satisfechos con el desarrollo de las prácticas. En la sección de resultados se pueden observar los cambios experimentados con respecto al curso pasado.

### 3.7. Resultados obtenidos

En esta sección realizamos un análisis de los resultados obtenidos a lo largo de los distintos cursos en los que llevamos realizando prácticas de direccionamiento y enrutamiento interno por medio de la herramienta GNS3. En particular, vamos a mostrar cómo los cambios metodológicos introducidos en el último curso han conducido a un mayor seguimiento de la asignatura y que se traduce en una mayor entrega en el número de prácticas. Los distintos resultados se presentan a través de las tablas 3, 4, 5 y 6. En concreto, estas tablas presentan los resultados obtenidos en los cursos que van desde 2011-12 al 2014-15 para las distintas convocatorias que forman parte del curso (salvo para el último curso que los datos no están disponibles todavía).

Los resultados mostrados en la Tabla 2 muestran claramente que el porcentaje de prácticas entregadas en la convocatoria de Febrero ha aumentado significativamente. El primer gran aumento en las entregas se puede observar en el curso 2013-14, donde ya se introdujo la posibilidad de que en la última semana se pudieran entregar las prácticas. Esta posibilidad junto con el diseño de un único enunciado de práctica final que se iría realizando a lo largo de las distintas sesiones del cuatrimestre ha hecho que el porcentaje de prácticas entregadas haya subido al 65,69 %, lo que prueba el éxito de combinar ambos enfoques. Es más, aún si disponer de los datos de la convocatoria de Julio para este curso, si miramos los datos a nivel de curso (Tabla 5), podemos comprobar que el porcentaje de prácticas presentadas entre Junio y Julio (Tabla 4, Tabla 5) 66,32 % - es mayor que el porcentaje de todas las prácticas entregadas durante el curso pasado (60,66 % - Tabla 5).

Como en Febrero se realiza una amplia entrega de práctica, eso es lo que ha provocado que en la convocatoria de Junio haya descendido el porcentaje de prácticas entregadas, tal y como se puede comprobar en la Tabla 4.

En cuanto a los porcentajes de prácticas aprobadas, si observamos las tablas Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5, vemos que los porcentajes se encuentran en una horquilla que oscila entre el 90 % y el 100 %. La justificación de estos valores se debe a que, gracias a que la virtualización les permite de forma sencilla probar el escenario tantas veces como sea necesario, los alumnos no entregan las prácticas hasta que han comprobado que les funcionan correctamente. Los casos en que se ha producido una entrega de una práctica y, posteriormente, algún alumno la ha suspendido se debe a que en el grupo de trabajo, uno de los dos miembros ha realizado el trabajo y el otro apenas ha colaborado en el desarrollo de la práctica, con lo que cuando ha llegado a la entrevista no ha mostrado un conocimiento adecuado de la práctica y, por tanto, ha suspendido.

**Tabla 3.** Análisis de la entrega de prácticas en la convocatoria de Febrero

Curso	N° Alumnos	Entregadas	% Entregadas	Aprobadas	% Aprobadas	Nota media
2011-12	92	29	31,52	27	93,1	7,24
2012-13	125	28	22,4	28	100	7,73
2013-14	122	56	45,9	50	89,29	7,66
2014-15	137	90	65,69	89	98,89	7,38

**Tabla 4.** Análisis de la entrega de prácticas en la convocatoria de Junio

Curso	N° Alumnos	Entregadas	% Entregadas	Aprobadas	% Aprobadas	Nota media
2011-12	92	13	14,13	13	100	5,57
2012-13	125	5	4	5	100	8,93
2013-14	22	10	8,2	10	100	7,6
2014-15	137	1	0,73	1	100	5,4

**Tabla 5.** Análisis de la entrega de prácticas en la convocatoria de Julio

Curso	N° Alumnos	Entregadas	% Entregadas	Aprobadas	% Aprobadas	Nota media
2011-12	92	13	14,13	13	100	7,13
2012-13	125	10	8	10	100	7,55
2013-14	122	9	7,38	8	88,89	7,56
2014-15	137	7	5,1	7	100	7,93

**Tabla 6.** Análisis de la entrega de prácticas en todo el curso

Curso	N° Alumnos	Entregadas	% Entregadas	Aprobadas	% Aprobadas	Nota media
2011-12	92	55	59,78	53	96,36	6,65
2012-13	125	43	34,4	43	100	8,07
2013-14	122	74	60,66	68	91,68	7,60
2014-15	137	98	71,53	97	98,9	7,40

## 4. Conclusiones y vías futuras

La docencia práctica de las asignaturas de redes de comunicaciones es algo que siempre ha preocupado al alumnado desde hace muchos años. En particular, en los comienzos en que los equipamientos de red eran tan caros y la posibilidad de contar con laboratorios reales donde desarrollar las cuestiones prácticas de configuración y gestión de las redes no estaban al alcance de todo el mundo. Hoy día, si que se cuenta con muchos más medios, pero aún así, la gestión de grupos de prácticas numerosos en los que se requiere la interacción con equipamiento específico sigue siendo complicado y la virtualización es una muy buena opción de cara a conseguir que los alumnos adquieran una verdadera destreza práctica en la configuración y administración de redes.

La elección de una buena herramienta de virtualización que se adapte bien a los objetivos de la asignatura es fundamental, y así lo es también el hecho de que la herramienta sea amigable y sencilla de usar. Por ejemplo, hace años comenzamos a trabajar con una herramienta sin entorno gráfico basada en VNUML [13,3], llamada VNUML-UM [9,11] y los alumnos valoraban muy positivamente el poder configurar y administrar redes aunque fuese de forma virtual. Sin embargo, la complejidad que introducía la herramienta y su configuración en base a ficheros XML de las topologías hacían que el sobreesfuerzo para el alumno no valiese la pena.

En este artículo hemos explicado nuestra experiencia con la herramienta de virtualización GNS3, así como otras cuestiones relacionadas con la planificación de las prácticas, más allá de la propia herramienta que también creemos importantes de cara al éxito de las prácticas de la asignatura desde el punto de vista de la formación que adquieren los alumnos así como de su satisfacción con las mismas. En particular, hemos visto como una adecuada temporización de las sesiones y una metodología basada en la participación activa desde las primeras sesiones trabajando ya desde el primer día con el boletín de prácticas en mano hacia la realización del escenario final ayuda a mantener una buena motivación de los alumnos como ha demostrado la evolución positiva del número de entregas de prácticas en la primera convocatoria de la asignatura y los buenos resultados en cuanto a la calificación de las mismas.

Como trabajo futuro, estamos analizando por un lado adaptación a las sesiones para poder intentar introducir también en las prácticas conceptos de otros temas de la asignatura que no sean sólo el routing, así como incorporar las últimas mejoras que incorpora GNS3 en cuanto a contar con interconexión a Internet del escenario virtual, soporte de equipamiento de múltiples fabricantes y demás.

## Referencias

1. GNS3, <http://www.gns3.com>
2. Dobrilovic, D., Odadzic, B.: Virtualization technology as a tool for teaching computer networks. World Academy of Science, Engineering and Technology 13(13), 126–130 (Jan 2006)

3. Galán, F., Fernández, D., Fuertes, W., Gómez, M., de Vergara, J.E.L.: Scenario-based virtual network infrastructure management in research and educational testbeds with VNUML. *Annals of telecommunications - annales des télécommunications* 64(5-6), 305–323 (2009), <http://dx.doi.org/10.1007/s12243-009-0104-3>
4. Garcia, I.A., Pacheco, C.L., Garcia, J.N.: Enhancing education in electronic sciences using virtual laboratories developed with effective practices. *Computer Applications in Engineering Education* (2011), <http://dx.doi.org/10.1002/cae.20554>
5. Martínez, J., Ortega, J.J., Fernández, J.A.: Laboratorios virtuales de redes: sí, inténtelo en casa. In: *Actas XVII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática*. p. 347354. Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática (Jul 2011), <http://upcommons.upc.edu//handle/2099/12001>
6. Nemesio, S.C., De Las Heras Quirós, P., Barbero, E.M.C., González, J.A.C.: Early experiences with NetGUI laboratories. In: *Simposio Internacional de Informática Educativa 2006. SIIE'06* (Oct 2006)
7. Pereniguez-Garcia, F., Ruiz-Martínez, A., Muñoz, F.J.R., Marín-López, R., Ruiz-Martínez, P.M.: Experimenting with different virtualization tools for the practical learning of computer networks. *EDULEARN12 Proceedings* p. 714721 (2012)
8. Rivadeneira Sicilia, J.M.: Prácticas de redes en entorno real en laboratorios de propósito general. In: *XVI Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática*. pp. 155–160. Universidade de Santiago de Compostela. Escola Técnica Superior dEnxeñaría (Jul 2010), <http://upcommons.upc.edu/revistes/handle/2099/11772>
9. Ruiz-Martínez, A., Pereñiguez, F., Mariñ-López, R., Ruiz, P.M., Gómez-Skarmeta, A.F.: VNUML kernel and filesystem for teaching advanced computer network concepts, <http://ants.inf.um.es/arm/computernetworks/vnuml-um.html>
10. Ruiz Martínez, A., Marín López, R., Pereñiguez García, F., Ruiz Martínez, P.M., Gómez Skarmeta, A.F.: Experiencia con la herramienta de virtualización vnuml para la enseñanza de redes de computadores. In: *Actas de XVI Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática*. p. 162168. Universidade de Santiago de Compostela. Escola Técnica Superior dEnxeñaría (Jul 2010), <http://upcommons.upc.edu/revistes/handle/2099/11773>
11. Ruiz-Martínez, A., Pereníguez-García, F., Marín-López, R., Ruiz-Martínez, P.M., Skarmeta-Gómez, A.F.: Teaching advanced concepts in computer networks: Vnuml-um virtualization tool. *IEEE Transactions on Learning Technologies* 6(1), 8596 (2013)
12. Ruiz-Martínez, P.M., Pereniguez-Garcia, F., Ruiz-Martínez, A., Muñoz, F.J.R.: *Arquitectura de Redes (OCW)* (2012), <http://ocw.um.es/ingenierias/arquitectura-de-redes>
13. VNUML Web server: Virtual Network User Mode Linux (VNUML), <http://www.dit.upm.es/vnumlwiki>