

# Prácticas de redes en entorno real en laboratorios de propósito general

J.M<sup>a</sup>. Rivadeneyra Sicilia

Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores  
Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea  
Facultad de Informática – Campus de Ibaeta  
20018 Donostia – San Sebastián  
jm.rivadeneyra@ehu.es

## Resumen

Se presenta una experiencia de impartición de créditos prácticos de asignaturas de redes de computadores en un entorno real. El trabajo de los alumnos consiste en construir físicamente las redes sobre las que van a experimentar, configurar adecuadamente los equipos de la red, y hacer varios ejercicios y experimentos sobre las redes construidas. El entorno de trabajo es mixto Ubuntu/CISCO. El objetivo docente es entrenar a los alumnos en entornos de trabajo real y consolidar y ampliar los conocimientos teóricos. El principal valor que atribuimos a esta experiencia es lograr montar con muy poco presupuesto y sobre laboratorios de propósito general una infraestructura para prácticas de redes en entorno real.

## 1. Introducción

En la docencia de asignaturas de redes los laboratorios juegan un papel fundamental. En el caso más habitual en nuestras universidades, esa docencia práctica de redes ha tenido que desarrollarse en laboratorios de propósito general. Este hecho limita mucho las posibilidades docentes para prácticas de redes, por las restricciones que una gestión racional del equipamiento del laboratorio impone. Esto ha llevado a que, al igual que en otras áreas de la Informática, el trabajo en esos laboratorios se haya basado frecuentemente en el uso de simuladores [8][7], especialmente potentes para trabajos de análisis de tráfico. En su uso en la docencia, estos simuladores presentan en general dos problemas: la curva de aprendizaje hasta

dominar y hacer útil la herramienta, y su poca utilidad para entrenar a los alumnos en el trabajo diario sobre una red (configuración de equipos en distintos entornos, uso de herramientas para análisis y control de red, ...).

La caída constante de los precios de los equipos hizo viable hace ya algunos años el uso de entornos reales de red para que el alumno experimente sobre ellos. Varias publicaciones [6] [10] muestran experiencias de este tipo. Un hándicap de este enfoque suele ser el económico (caso de [6]), pero, como se muestra en [10], es posible montar laboratorios con muy poco presupuesto. La ventaja que presenta el trabajo con entornos reales es clara, y buena muestra de ello es la atracción que ejerce sobre los alumnos de estudios oficiales de Informática el programa de certificaciones de CISCO [2], en el que la parte práctica se basa en el trabajo en entorno real. Muchos centros universitarios españoles han visto en la colaboración con este programa de CISCO una vía para ofrecer a sus alumnos el trabajo en entorno real de redes [9].

Una tercera opción que pretende aunar las principales bondades de cada una de las dos anteriores es la virtualización, que se ha consolidado como una alternativa cómoda y barata al trabajo con máquinas reales en varios ámbitos de la Informática. Uno de ellos es la enseñanza, donde las experiencias de laboratorios docentes de redes basados en virtualización son cada vez más numerosas y documentadas [12][11] [5]. A pesar de las mejoras alcanzadas en la virtualización, ésta no siempre ofrece las mismas posibilidades que un entorno real. Muestra de ello son estas frases extraídas de [12]: "... interés en

funcionalidades o prestaciones que la infraestructura virtualizada no permite ofrecer ...”, “... la sustitución de los nodos reales por virtuales y su comunicación a través de una red virtualizada puede distorsionar las prestaciones que se obtendrían en la comunicación de estos elementos ...”.

En el curso 04/05, en nuestro centro, se planteó la reforma de la docencia práctica en redes, para incorporar a la preparación de los alumnos el entrenamiento en el trabajo en entornos de red, sin renunciar al asentamiento y ampliación de conceptos teóricos mediante la práctica. En ese curso, las experiencias docentes con virtualización eran todavía pocas y poco conocidas, por lo que directamente se buscó el trabajo sobre un entorno real. Los condicionantes a cumplir eran los siguientes:

1. Las prácticas de redes tenían que desarrollarse en algún laboratorio de propósito general.
2. El laboratorio a usar tenía que poder dar servicio al menos a 24 alumnos simultáneamente.
3. Las herramientas a usar no podían exigir una curva de aprendizaje prolongada.
4. La inversión en equipos o software no podía ser elevada.
5. La gestión de los recursos del laboratorio debía ser lo más simplificada posible.

En el curso 05/06 se puso en marcha, de forma piloto, un laboratorio de redes para las prácticas de la asignatura Redes de Computadores II de la Ingeniería Técnica Informática de Sistemas. La experiencia fue valorada positivamente, por lo que posteriormente se ha consolidado. En las siguientes secciones vamos a describir la experiencia de estos años, a valorarla desde el punto de vista docente, y a extraer algunas conclusiones. Empezaremos esa descripción por el hardware del laboratorio, para ver después qué tipos de ejercicios se han hecho en ese laboratorio, y cómo se ha evaluado el impacto académico de la puesta en marcha del mismo.

## 2. Equipamiento del laboratorio

El laboratorio está organizado en 10 puestos de trabajo autónomos. En cada puesto pueden trabajar de uno a cuatro alumnos, siendo dos el número considerado óptimo desde el punto de vista docente. En cada puesto hay 6 máquinas:

- Dos equipos de usuario estándar (ordenadores personales). En diferentes cursos hemos usado distintas configuraciones hard/soft en estos puestos, ajustándonos a la política de laboratorios generales del centro.
- Un tercer ordenador personal similar a los anteriores, equipado con dos tarjetas de red. Esta máquina puede ser de gama baja comparando con un puesto de trabajo estándar, pues su uso como encaminador bajo SO Linux no requiere de grandes prestaciones (en los primeros cursos se usó un Pentium II/300 MHz/256KB RAM, sin que diera ningún problema). Para ahorrar espacio sobre la mesa donde se coloca el puesto de trabajo, en la configuración inicial del laboratorio este equipo carecía de teclado/ratón/pantalla, por lo que se accedía a su control desde uno de los dos equipos de usuario anteriores, usando un KVM de dos puertos. En el curso 09/10 se ha dotado también a este ordenador de pantalla/teclado/ratón, al pasar este año a ser los equipos de usuario ordenadores portátiles, con lo que no se podía compartir sus periféricos mediante KVM.
- Un encaminador Cisco. Hasta el curso 09/10 fue un equipo de la serie 2600, siendo sustituido este año por otro más actual, de la serie 2800.
- Dos concentradores (hubs).
- Juego de 6 cables de red: 4 latiguillos estándar con conectores RJ-45, 1 cable similar a los anteriores, pero cruzado, y un cable conversor RJ-45/DB-9. Los primeros cinco cables se usan para interconectar los equipos del puesto entre sí, para dar lugar a distintas topologías, y el último se usa para conectar la consola al equipo CISCO.

Para el control del encaminador CISCO en cada puesto de trabajo se usa uno de los tres PCs de ese mismo puesto, que actúa como consola mediante un emulador de terminal.

En la fotografía de la figura 1 se muestra la disposición de los equipos: los dos equipos de usuario en los extremos (portátiles), y los otros cuatro equipos (concentradores y encaminadores) apilados en el centro de la mesa. Curiosamente, el hecho de que en el curso 09/10 el laboratorio pasara a ser equipados con portátiles como puesto de trabajo estándar del alumno, ha redundado en

mayor ocupación de espacio sobre la mesa, al obligar a sustituir los KVMs por un juego adicional teclado/pantalla/ratón para los encaminadores.



Figura 1. Puesto de trabajo en el laboratorio

Hay que destacar el bajo coste de una configuración de laboratorio así. La única inversión que se ha hecho en nuestro caso ha sido en los equipos CISCO (1467 € cada uno), ya que:

- Los dos equipos de usuario son los estándar de cualquier laboratorio de informática. Es decir, son equipos que ya estaban en el laboratorio.
- El encaminador Linux es un equipo de usuario reutilizado tras haber sido retirado de otros laboratorios estándar, donde ha sido sustituido por equipos de gama más alta.
- Los concentradores son equipos de la red de la universidad que han sido sustituidos por conmutadores. Con su uso en el laboratorio de redes se ha evitado su conversión en residuos.

### 3. Experiencia docente

La docencia de los créditos prácticos de la asignatura se estructura en 6 sesiones de laboratorio de 2,5 horas. Cada sesión es totalmente autónoma de las demás.

#### 3.1. Tipo de ejercicios desarrollados

Con algunas variaciones a lo largo de los años, los temas tratados en cada una de las sesiones han sido los siguientes:

- Sesión 1: Introducción al laboratorio y toma de contacto con el entorno de trabajo. Uso de comandos básicos de configuración y herramientas de red en Linux e IOS.
- Sesión 2: Encaminamiento estático. Pruebas de rendimiento de encaminadores.
- Sesión 3: Servicio DHCP básico y DHCP relay.
- Sesión 4: Servicios NAT.
- Sesión 5: Servidores Web.
- Sesión 6: Cortafuegos.

En todos los laboratorios (excepto el primero) la dinámica es la misma: primero el alumno construye y configura la red sobre la que ha de trabajar, después configura los servicios objeto del laboratorio, y finalmente hace una serie de ejercicios sobre la infraestructura montada encaminados a mejorar el conocimiento del funcionamiento interno de esos servicios. El objetivo de las dos primeras partes de los laboratorios (construcción y configuración de redes y servicios) es entrenar a los alumnos en el trabajo sobre redes en contextos Linux y Cisco. La segunda parte (ejercicios) busca asentar y ampliar cuestiones teóricas relativas a redes y servicios sobre TCP/IP. Los ejercicios se basan en el uso de Wireshark [13] para capturar el tráfico y analizarlo.

Un ejemplo de topología construida en los laboratorios es la de la figura 2. Tras construir físicamente la red, configurar interfaces y tablas en los encaminadores, y configurar y arrancar un servidor DHCP en uno de ellos, los alumnos ponen en marcha un cliente DHCP, capturan el tráfico que se genera, y lo estudian para contestar a las preguntas que se le plantean. Posteriormente el escenario y los ejercicios se complican con la puesta en marcha de un DHCP relay en el otro encaminador. Para conocer con detalle el contenido de los ejercicios, se pueden descargar los enunciados completos de las sesiones prácticas del curso 09/10 en [4].

Un aspecto a citar es la adaptabilidad de los ejercicios desarrollados a los cambios hardware/software en los equipos de usuario del laboratorio. Esos cambios escapan al control de los responsables docentes de la asignatura, por ser un laboratorio de propósito general usado por varias asignaturas, lo que hace de esa portabilidad una condición a cumplir.

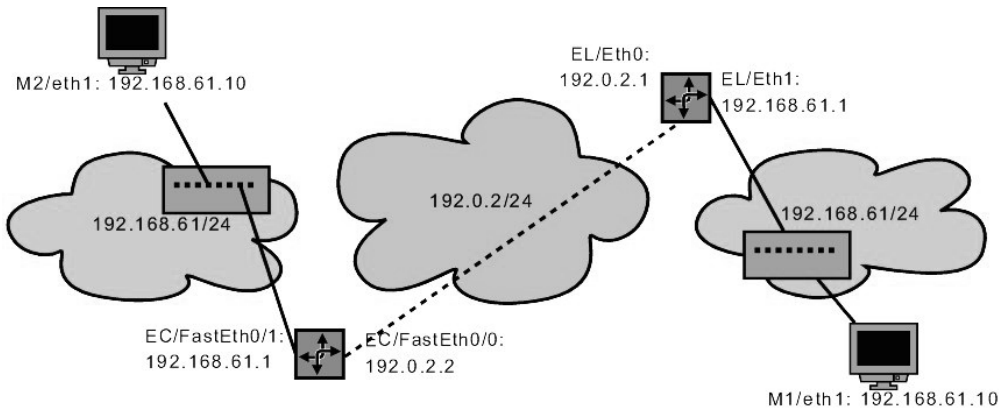


Figura 2. Topología de red construida en una de las sesiones de laboratorio (sesión NAT).

### 3.2. Evaluación del trabajo del alumno

La asistencia a las sesiones prácticas tiene el mismo carácter voluntario que las sesiones teóricas, y por tanto no hay un control de asistencia. Tampoco se pide a los alumnos que entreguen ninguna documentación o trabajo basado en lo hecho en el laboratorio para ser usada como evaluación. No obstante, sí se les pide que documenten su trabajo todo lo exhaustivamente que crean conveniente, teniendo en cuenta que esa documentación, junto con los enunciados de los laboratorios, será la base principal que tenga el alumno para preparar la evaluación de la parte práctica de la asignatura.

Para esa evaluación, como para la asistencia, se ha seguido el mismo esquema que para los créditos teóricos, consistente en un examen final escrito. Concretamente, en el examen final de la asignatura se incluyen una serie de ejercicios muy similares a los que el alumno ha hecho en el laboratorio. De hecho, casi siempre estos ejercicios son variantes de ejercicios de laboratorio, en las que el alumno tiene que completar configuraciones de equipos, detectar errores de configuración, interpretar trazas, predecir comportamientos, etc. El peso de estos ejercicios en la nota final de la asignatura es de un 20%.

Para la preparación del examen se facilita a los alumnos acceso al laboratorio en las semanas previas a la prueba, aunque el uso que se viene dando a esta oportunidad es muy marginal.

### 3.3. Esfuerzo de preparación

La inversión en tiempo dedicado por la parte docente para preparar estos laboratorios ha sido importante, comprendiendo:

- El diseño de los ejercicios, buscando su factibilidad en la configuración física y tiempos de laboratorio.
- La prueba y refinado de los mismos.
- La elaboración de enunciados que sean suficientes para culminar los ejercicios de forma autónoma por parte del alumno.

Sin embargo, una vez que se dispone de ese material, el tiempo necesario para formar a un profesor para usarlo es mínimo. Lo único que el profesor necesita es hacer él mismo los laboratorios, con lo que ese tiempo viene a ser como máximo de 2 horas 30' por cada sesión de laboratorio a impartir.

### 3.4. Evaluación de la experiencia

Se han llevado dos tipos de controles para seguimiento y evaluación de la experiencia. Por un lado, durante los tres primeros cursos se pasaba un cuestionario a los alumnos al final de cada laboratorio, donde se les preguntaba por el nivel de dificultad, interés despertado y tiempo invertido por cada ejercicio del laboratorio. Ese cuestionario ha servido fundamentalmente para detectar problemas de factibilidad en tiempo de algunos ejercicios, y para constatar el interés general de los laboratorios despertado en los

alumnos. Posteriormente, una vez dado por estable el contenido de los laboratorios, sólo se ha controlado el número de alumnos que acaba cada ejercicio.

Por otro lado, a partir del segundo año, para evaluar el nivel de éxito o fracaso académico de la experiencia, hemos tomado como referencia su impacto en los resultados académicos de los alumnos. Para ello hemos considerado dos grupos de alumnos: los que habían acudido a al menos el 80 % de los laboratorios y el resto. Estudiando los resultados de los exámenes, hemos encontrado que los que acuden al laboratorio obtienen mejores resultados, sin que haya habido variaciones significativas en los cursos estudiados. El resumen de ese seguimiento es el que aparece en la figura 3.

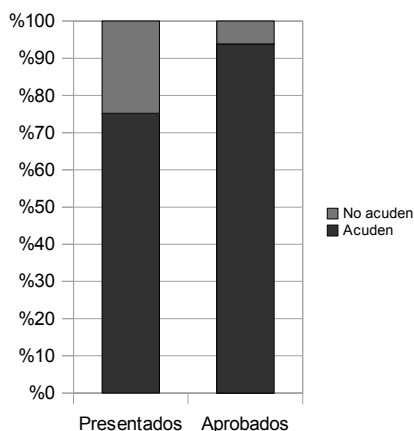


Figura 3. Evaluación del impacto académico del laboratorio.

Los valores de la figura son las medias aritméticas de los registros de los cuatro cursos estudiados. No obstante estos resultados, hay que ser cauto a la hora de establecer una relación causa-efecto entre la asistencia al laboratorio y la superación de la asignatura, ya que hay muchos otros factores que influyen sobre esas variables. Por ejemplo, los alumnos que asisten regularmente al laboratorio son, en general, los que mantienen una mejor actitud e interés hacia la asignatura, por lo que, independientemente del tipo de laboratorio que se haga, seguramente van a ser entre los que se encuentren la mayor parte de los aprobados. De cualquier manera, las

estadísticas obtenidas nos sirven de claro indicio de que las cosas van por buen camino.

#### 4. Conclusiones y perspectivas

Las conclusiones que extraemos de nuestra experiencia las relacionamos a continuación organizadas como fortalezas apreciadas y debilidades detectadas.

Fortalezas:

- Se cumple el objetivo de que el alumno adquiera una mínima experiencia en el trabajo en contacto directo con un entorno de redes.
- Para el alumno no existe prácticamente curva de aprendizaje sobre recursos docentes, es decir, aquellos que le son útiles para su proceso de aprendizaje, pero que tienen un valor muy bajo para su vida laboral. Las herramientas que usa el alumno para aprender son las mismas que usará en su vida profesional.
- El costo de la puesta en marcha de un laboratorio así es muy bajo, reducido a la inversión en equipos Cisco. Hay que señalar que se puede plantear un laboratorio que renuncie a trabajar con hardware Cisco con un coste prácticamente cero, si disponemos de ordenadores personales y hubs procedentes de renovaciones de infraestructuras susceptibles de ser reutilizados. Véase que renunciar a hardware Cisco no quiere decir renunciar, al menos totalmente, a la formación en esta tecnología, puesto que se dispone de buenos emuladores del sistema IOS.
- El costo en tiempo de preparación por parte de los docentes es mínimo, una vez que se dispone de los enunciados y equipos del laboratorio.
- La puesta en marcha del laboratorio no requiere la asignación de un espacio y hardware propio al margen de los laboratorios de uso general en los estudios de Informática.

Debilidades:

- El principal problema que vemos a esta aproximación es la imposibilidad de que el alumno pueda reproducir en casa el entorno de trabajo. Esto es, sin embargo, un problema menor si se puede abrir el laboratorio para

acceso de los alumnos fuera del horario lectivo.

- Un segundo problema es la dificultad para desarrollar ejercicios sobre escenarios complejos, con topologías que impliquen más de tres redes interconectadas. Esto es de interés, por ejemplo, para el estudio de protocolos de encaminamiento (RIP, OSPF, BGP). En la primera versión del laboratorio se incluía un ejercicio en el que se montaba una interred entre dos puestos, con 4 encaminadores y 4 redes interconectadas, pero la experiencia fue negativa: en las 2'5 horas de la sesión, los alumnos apenas llegaban a construir la red sobre la que luego tenían que experimentar.

Esas debilidades nos muestran el camino a seguir para mejorar. Nuestro objetivo actual es ampliar el uso del laboratorio montado a otras asignaturas relacionadas con redes en el marco de las nuevas titulaciones de grado y posgrado. Para ello el problema que vemos más importante es el de la posibilidad de desarrollar ejercicios sobre topologías complejas, pues esos escenarios van a ser necesarios en asignaturas que vayan más allá de una formación básica en tecnología TCP/IP.

Para solventar esa cuestión, estamos trabajando dos alternativas, que no son excluyentes entre sí:

- Una es preparar scripts de configuración, de manera que se puedan montar y configurar las redes es un tiempo reducido, para poder pasar a experimentar sobre ellas en la misma sesión de laboratorio.
- La otra es trabajar sobre un escenario mixto real/virtualizado.

Esta segunda opción presenta además la ventaja añadida de abrir una puerta a resolver el problema de la portabilidad del entorno de prácticas al domicilio del alumno. El uso de

máquinas y redes virtuales tendrá que ser complementado con el de algún emulador para máquinas Cisco [3][1].

## Referencias

- [1] Boson NetSim: [www.boson.com](http://www.boson.com).
- [2] CISCO Certifications: [www.cisco.com/web/learning](http://www.cisco.com/web/learning)
- [3] Dynamips, CISCO 7200 Simulator: , [www.ipflow.utc.fr/index.php/Cisco\\_7200\\_Simulator](http://www.ipflow.utc.fr/index.php/Cisco_7200_Simulator)
- [4] Enunciados en [www.sc.ehu.es/acwreco2](http://www.sc.ehu.es/acwreco2).
- [5] Gil J.A. et al. *Entorno de red virtual para la realización de prácticas realistas de Administración de Sistemas Operativos y Redes de Computadores res.* XI Jornadas de la Enseñanza de la Informática (JENUUI 05). Madrid, 13-15 de junio de 2005.
- [6] Liebeherr J., El Zarki M. *Mastering Networks. An Internet Lab manual.* Pearson Education 2004.
- [7] Network Simulator: [nsnam.isi.edu/nsnam](http://nsnam.isi.edu/nsnam)
- [8] OPNET simulator: [www.opnet.com/](http://www.opnet.com/)
- [9] PANNTA: [/www.pannta.org](http://www.pannta.org)
- [10] Panwar S., et al. *TCP/IP Essentials. A lab-based approach.* Cambridge University Press 2004.
- [11] Pizzonia M., Rimondini M., "Netkit: Easy Emulation of Complex Networks on Inexpensive Hardware", Proceedings of the 4th International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks & Communities (TridentCom 2008), Innsbruck (Austria), March 18th - 20th, 2008.
- [12] Ruíz, F. et al. *Modelo de Laboratorio Docente de Telemática basado en Virtualización Distribuida*", VII Jornadas de Ingeniería Telemática (JITEL 2008), Alcalá de Henares (Madrid), 16-18 de Septiembre de 2008.
- [13] Wireshark: [/www.wireshark.org](http://www.wireshark.org)