

# El uso de encaminadores domésticos en el entorno docente\*

Francisco Sanmartín, Enrique Torres, Juan Segarra y Unai Arronategui  
Departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas  
Universidad de Zaragoza

## Resumen

En las licenciaturas y diplomaturas relacionadas con la informática se intenta preparar a los alumnos lo mejor posible para que aprendan a instalar y configurar dispositivos profesionales, así como entender los conceptos teóricos que se usan comunicaciones.

La popularización de las nuevas tecnologías y de las redes de computadores en la sociedad actual ha hecho que el uso de encaminadores para interconectar las redes se extendiera hasta llegar a nuestros hogares, reduciendo su coste paulatinamente gracias al aumento de la demanda.

El proyecto *OpenWrt* ofrece un firmware libre a través de Internet que permite ampliar la funcionalidad de los encaminadores domésticos, de manera que ofrecen todas las funciones de las que dispone un encaminador profesional, con la diferencia de que se ejecutan sobre un dispositivo doméstico de bajo coste, como es el Linksys WRT54GL.

Aunque este firmware ofrece una amplia funcionalidad, está pensado para ejecutarlo en entornos domésticos, y no está preparado para que los alumnos lo usen intensivamente en las sesiones de prácticas.

A lo largo este artículo se explica por qué se eligió precisamente este modelo y este firmware, y cómo y qué modificaciones se han llevado a cabo en el software de gestión para adaptar su uso al entorno docente, como por ejemplo crear un control de usuarios, un sistema para revertir el dispositivo a un estado inicial o crear una herramienta para facilitar la personalización del software del dispositivo.

## 1. Introducción

En los últimos años ha habido una creciente demanda de las conexiones de banda ancha en la sociedad, popularizando el uso de Internet y de las nuevas tecnologías. Hoy en día, una gran cantidad de hogares cuenta con una conexión de banda ancha de alta velocidad, compartida con uno o varios ordenadores personales. Para permitir la interconexión entre distintas redes, se han usado tecnologías existentes como es *Ethernet*, pero también se han desarrollado otras como *WiFi* que permite conexión inalámbrica.

Gracias a estas tecnologías se ha popularizado el uso de los encaminadores domésticos, que permiten interconectar los ordenadores del hogar para que todos puedan compartir la conexión a Internet. Esta posibilidad, ha hecho que aumentara la demanda de los encaminadores domésticos y por lo tanto bajara el coste de los mismos. Estos encaminadores son diseñados para un entorno doméstico y familiar, lo que hace que sean asequibles y fáciles de utilizar, como el dispositivo de la figura 1, al contrario que los encaminadores profesionales, que ofrecen una amplia funcionalidad y un rendimiento, pero a un precio superior.



Figura 1. Vista exterior de un encaminador doméstico

---

\* Este trabajo ha sido parcialmente subvencionado por el proyecto "Materia troncal Redes en Ingeniería Informática" del Programa de Incentivación de la Innovación Docente de la Universidad de Zaragoza PIIDUZ-2006-B2.

Dado que normalmente no se pueden utilizar los encaminadores profesionales para la docencia, se recurre frecuentemente al uso de animaciones y simuladores para explicar conceptos relacionados con las redes de comunicaciones, como el protocolo *TCP*, enrutamiento y similares. Sin embargo, desde el punto de vista del alumnado, estas herramientas acaban siendo vistas como un simple juego de ordenador, ocultando problemas reales.

Sin embargo, si se les da la oportunidad de explorar los aparatos físicamente, observar las antenas, los conectores, el poder enchufar y desenchufar latiguillos, enfrentarse a problemas reales y que lo puedan poner en práctica “in-situ” es mucho más interesante desde el punto de vista educativo, ya que se asientan mejor los conceptos al asociar imagen y tacto con lo que previamente han visto en las clases de teoría [1].

Los encaminadores domésticos, gracias a su bajo coste, permiten a los alumnos trabajar con dispositivos reales. Para ello, previamente es necesario adaptarlos al ámbito docente. La funcionalidad de los encaminadores domésticos con el software de gestión (firmware) que traen de fábrica es limitada, ya que no dispone de muchas de las opciones que se usan hoy en día en encaminadores profesionales como monitorización del tráfico de red o enrutamiento de datos configurable.

Afortunadamente, existen diferentes proyectos en Internet que vienen a sustituir el software de gestión del dispositivo por otros de código abierto, es decir, que cualquier usuario se puede descargar el código fuente, estudiarlo, modificarlo y compilarlo. Estos firmwares ofrecen una funcionalidad mucho mayor, que se asemeja a la que pueden ofrecer dispositivos profesionales.

Sin embargo hay una serie de cuestiones a resolver antes de usar los encaminadores domésticos para la docencia:

Lo ideal sería que cada alumno dispusiera de un aparato para la realización de las prácticas, y se devolvieran a final de curso, pero la realidad es que se dispone de un número reducido de dispositivos para un elevado número de alumnos, y por lo tanto hay que compartirlos entre los distintos grupos de prácticas.

Adicionalmente, existen ciertas configuraciones que podrían dejar el encaminador en un estado inservible, como sería por ejemplo alterar la velocidad del procesador, y otras que impiden volver a configurarlo, como pasaría al bloquear todas las

conexiones que intentaran acceder al encaminador.

Además, estos firmwares no disponen de herramientas de gestión de usuarios, ya que están pensados para ser configurados por una sola persona, normalmente el administrador.

Para solucionar problemas como estos, se modifico el firmware *OpenWrt* de la siguiente manera para adaptarlo a la docencia:

Se crearon dos tipos de cuentas de usuario, una limitada, sin todos los privilegios, para asegurar la integridad del dispositivo y la seguridad de la red y que fuera usada por los alumnos, y otra cuenta con todos los permisos, para ser usada por profesores y administradores.

Además, para que cada alumno se encuentre con la misma versión del dispositivo, independientemente de lo que haya hecho el grupo anterior de prácticas, se modifico el proceso de arranque para que siempre cargue un estado “inicial” cada vez que se reinicia, y de esta manera, que pierda todos los cambios realizados en la configuración en la sesión anterior.

A lo largo de este artículo se presenta el uso de estos encaminadores en el ámbito docente. En la sección 2 se introduce el uso de redes en el entorno docente. En la sección 3 se analizan los encaminadores domésticos y se describe el hardware y el software. En la sección 4 se explica la problemática de usar encaminadores domésticos en el entorno docente y en la sección 5 se detallan las soluciones aplicadas. En la sección 6 se explica cómo se van a integrar estos dispositivos en el entorno docente y por último en la sección 7 se resumen las conclusiones obtenidas.

## 2. Redes en el entorno docente

Hoy en día todas las licenciaturas y diplomaturas relacionadas con la informática constan de asignaturas de redes de computadores. Con el auge de las redes de comunicaciones, estas asignaturas probablemente crecerán en importancia [2][3]. Quizá lo más importante en las asignaturas de redes es la arquitectura en niveles de abstracción, que contiene los conceptos esenciales aplicados en las comunicaciones.

Para impartir estos conceptos se programan una serie de sesiones de prácticas en el laboratorio, donde los alumnos pueden poner en valor los conceptos de teoría aprendidas en clase. Estos

laboratorios suelen ser una sala con varios ordenadores ejecutando Windows o Linux, y dos o tres concentradores para interconectar los equipos. No existe la posibilidad de que los alumnos administren los concentradores, ya que alterarían el funcionamiento normal de la sala, y tampoco se dispone de tantos puestos como para que cada alumno pueda utilizar 3 o 4 a la vez en cada práctica. Por lo tanto, lo que se imparte en las sesiones de prácticas viene limitado en su mayor parte por la funcionalidad que ofrece el laboratorio de redes.

Sin embargo, consultando varios libros que proponen ejercicios para los laboratorios de redes [4] no tienen en cuenta la limitación de los laboratorios de hoy en día, o presuponen que cada alumno puede administrar 3 o 4 máquinas para realizar la práctica.

Para suplir estas carencias, en los últimos años ha crecido el uso de simuladores. Por ejemplo, uno de estos simuladores es Packet Tracer [5] de Cisco Systems. Es un simulador que permite diseñar una red simple gráficamente, añadiendo ordenadores, conmutadores, encaminadores, servidores, etc. Después permite configurar algunos parámetros de la red y ver como viajan los paquetes de un lado a otro y observar los resultados gráficamente. Sin embargo este programa, es demasiado simple, que puede estar bien para principiantes, pero no se asemeja a la realidad existente.

Existen otros simuladores más completos como *OPNet* [6] y *ns2* [7]. Estos ofrecen una funcionalidad mucho más amplia, e incluso son usados en entornos profesionales y en el ámbito investigador. Permiten simular redes pudiendo elegir entre una gran variedad de modelos de servidores, encaminadores, conmutadores, cables y demás dispositivos profesionales. Es posible además ejecutar simulaciones para comparar rendimientos y evaluar distintos escenarios posibles que pueden ocurrir en una red tanto local como de gran tamaño.

### 3. Visión interna de un encaminador

A día de hoy existen multitud de modelos y fabricantes de encaminadores domésticos, cada uno con unas características y funcionalidades distintas, que ofrecen desde una simple conexión de

área local a Internet, hasta la posibilidad de incorporar discos duros y otros dispositivos USB.

El dispositivo base que la mayoría de fabricantes ofrece es un encaminador con 4 puertos ethernet que funcionan como concentrador/conmutador, con un puerto de salida a Internet (puerto para cable modem o ADSL) y con conexión inalámbrica.

El precio de los distintos modelos existentes en el mercado oscila entre los 50€ y los 100€, aunque no todos están disponibles fácilmente, como refleja la Tabla 1. El firmware que controla estos dispositivos normalmente es programado por el fabricante y de código cerrado y por lo tanto no se puede modificar. Sin embargo, en 2002 [8] se descubrió que algunos de ellos usaban Linux como sistema operativo, que es de código abierto y bajo la licencia GPL [9], obligando a los fabricantes a liberar el código del firmware y ponerlo a disposición de los usuarios (Columna Open Source, Tabla 1). Aunque los proyectos libres existentes en Internet se basan en que algunos fabricantes abrieron su código fuente, todavía no soportan todos los modelos del mercado, ya que cada marca usa hardware distinto (Columna *Firmware Libre Internet*, Tabla 1). Por lo tanto, teniendo en cuenta todo lo anterior, el encaminador más popular en cuanto a disponibilidad, precio y posibilidad de usar un firmware alternativo libre que aporte una amplia funcionalidad y que además es usado por una gran comunidad de usuarios en todo el mundo

| Marca        | Modelo          | Open Source | Firmware Libre Internet | Precio  |
|--------------|-----------------|-------------|-------------------------|---------|
| Linksys      | WRT54G          | No          | No                      | 70€     |
| Linksys      | WRT54GL         | Sí          | Sí                      | 69,50 € |
| Linksys      | WRT55AG         | Sí          | No                      | 71.10€  |
| Conceptronic | C54BRS4         | Sí          | No                      | 48,20 € |
| Buffalo      | WHR-G54S        | No          | Sí                      | Nodisp  |
| Asus         | WL-500g Deluxe  | Sí          | Sí                      | 90€     |
| Asus         | WL-500g Premium | No          | Sí                      | 99,20€  |
| Asus         | WL-300g         | Sí          | Sí                      | 85,20€  |
| Motorola     | WR850G          | Sí          | Sí                      | Nodisp  |

Tabla 1. Comparativa de modelos de encaminadores

es el Linksys WRT54GL (fila sombreada en Tabla 1), y por lo tanto es el elegido para usarlo en la docencia. A continuación se describe brevemente el hardware de este dispositivo.

### 3.1. Hardware

El encaminador, tal y como se muestra en la figura 2, dispone de 4 puertos ethernet con conector RJ-45 que están conectados como una red de área local virtual (VLAN 0). Dispone de un puerto adicional ethernet para conectar a redes externas o a otros encaminadores. Este puerto conforma la VLAN 1. Además, internamente utiliza otro puerto no accesible desde el exterior para unir las dos VLAN y conectar ambas con el procesador, que se encarga de las tareas de enrutamiento y procesamiento de los paquetes y sus cabeceras. Adicionalmente, permite conectividad inalámbrica mediante el uso de *WiFi*.

El hardware interno del Linksys WRT54GL se compone básicamente de un procesador a baja velocidad (unos 200 MHz), una memoria RAM y un chip de memoria no volátil (flash) que almacena el firmware y la configuración.

### 3.2. Software

A continuación se detallan brevemente los firmwares más populares que se pueden usar con el encaminador Linksys WRT54GL.

**De serie** [10]: Las opciones que permite son las que cabría esperar para un usuario medio (Redirección de puertos, configuración estática / DHCP, traducción de direcciones NAT). Sin embargo, un usuario avanzado encuentra limitado dicho firmware en cuanto a funcionalidad profesional.

**OpenWrt** [11]: Este proyecto comenzó en Enero de 2004 y ha venido siendo un referente para otros proyectos desde hace tiempo. Se basa, una vez más, en un núcleo Linux junto con herramientas GNU y dispone de un sistema gestor de paquetes que dota al firmware de una gran versatilidad y funcionalidad. Ofrece también un paquete de desarrollo que unido al hecho de que dispone de una gran comunidad de usuarios detrás y facilidad para contactar con otros desarrolladores (Foro, IRC, Wiki, e-mail...) hizo que fuera el can-

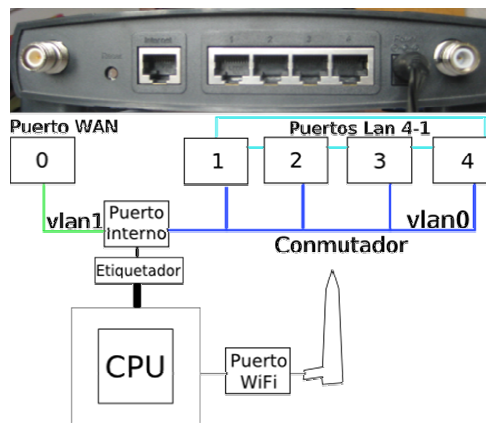


Figura 2. Imagen posterior y esquema de interconexión interna

didato idóneo para sustituir el firmware por defecto y adaptarlo así a las necesidades de la docencia.

**DD-Wrt** [12]: Este proyecto comenzó conjuntamente con OpenWrt, pero luego decidieron seguir su propio camino. Se basa en un GNU/Linux 2.4 y actualmente se encuentra en la versión v24. Dispone de diferentes versiones compiladas listas para utilizar, que contienen multitud de paquetes que permiten hacer casi cualquier cosa con el encaminador. Se encuentra bien mantenido y dispone de una considerable comunidad de usuarios, pero el principal problema que presenta es que la programación por parte de los desarrolladores es cerrada y no permite la incorporación (ni el soporte por lo tanto) a otros o futuros programadores que quieren colaborar con el proyecto.

**FreeWrt** [13]: Otro proyecto libre basado en GNU/Linux, especialmente orientado a desarrolladores. Dispone de un sistema de gestión de paquetes, con lo que una vez reemplazado el firmware se pueden añadir paquetes y configurarlos. Presenta todo un abanico de posibilidades. Sin embargo la documentación es más bien escasa y la comunidad de usuarios es mucho menor que otros proyectos.

## 4. Problemática

Al sustituir el firmware original con el proyecto libre *OpenWrt* se consigue ampliar su funcionalidad. Se puede configurar el encaminador en modo consola o modo interfaz Web, crear VLANs,

monitorizar el tráfico de red o configurar el cortafuegos con la herramienta *iptables*, etc. Además se puede instalar casi cualquier herramienta disponible para Linux, con lo que se cubre todo el abanico de herramientas que cabría encontrar en encaminadores profesionales. Sin embargo, *OpenWrt* tan solo amplía la funcionalidad del encaminador, y para usarlo en la docencia hay que resolver una serie de problemas:

- El principal problema es el disponer de un número reducido de aparatos para un número determinado de alumnos. Dado que los recursos universitarios son limitados, y el número de alumnos en asignaturas troncales y obligatorias como son las relacionadas con redes es elevado, hace que los grupos de prácticas tengan que compartir un conjunto de encaminadores entre sesiones de prácticas.
- El uso de estos encaminadores, se basan principalmente en que una sola persona va a ser quién configure el aparato, normalmente el administrador de la red local. Por lo tanto, sólo disponen de un usuario con todos los privilegios. Esto supone un problema, ya que no es deseable que un alumno tenga permisos de administrador dentro de la red de la universidad, en un aparato en el que se pueden instalar y configurar programas adicionales a los que ya tiene. Además, si se dejan habilitadas todas las opciones, incluso aquellas que modifican permanentemente el estado del dispositivo y que controlan el funcionamiento del hardware, como son la velocidad del procesador o la gestión de las particiones del sistema de archivos, es posible que los alumnos puedan dejar en un estado inservible e irrecuperable el dispositivo, ya que podrían dañar el hardware.
- Para modificar el firmware es necesario establecer un entorno de desarrollo con las herramientas adecuadas y compilar el código fuente. Este proceso genera un binario que se transmite al encaminador y este es reiniciado, cargando la nueva versión del firmware, existiendo el riesgo de que si esta transmisión es interrumpida, el dispositivo podrían volver a funcionar. Este proceso de modificación requiere aprender como funciona internamente el encaminador y como esta estructurado el

código, lo que implica que es muy tedioso para que, por ejemplo, un profesor pueda realizar cambios pequeños en el firmware con facilidad.

## 5. Soluciones

Una vez vistos los problemas presentan estos encaminadores en el uso del entorno docente, pasamos a enumerar las distintas soluciones realizadas a los problemas anteriormente nombrados.

### 5.1. Reset

Los alumnos han de compartir el encaminador entre sesiones y además existen configuraciones que pueden impedir el acceso de nuevo al dispositivo. Para solucionarlo, cada vez que el dispositivo se reinicie, ya sea bien vía hardware (desconexión) o vía software (panel de administración) se volverá a cargar un estado inicial que corresponderá al último firmware introducido.

Para ello, se han modificado las propiedades del sistema de archivos. En un principio el sistema contaba con dos particiones: Una partición en modo lectura, que almacenaba el firmware, y otra en la que se podía escribir, y que almacenaba los cambios en la configuración, de tal modo que no se perdieran los cambios aún cuando, por ejemplo, se cortara la corriente eléctrica. Ambas particiones se alojaban en la memoria flash del dispositivo.

En la nueva versión, la partición en la que se



Figura 3. Modificación del sistema de archivos

puede escribirse y almacenarse en la partición sobre memoria RAM, como se aprecia en la figura 3. De esta manera, cuando se reinicia el dispositivo, se pierden todos los cambios hechos durante la sesión: todos los archivos modificados son revertidos a su estado original, todos los archivos y carpetas creados nuevos son borrados, y las variables internas recuperan su valor por defecto. Así se asegura mayor robustez frente a configuraciones no deseables.

### 5.2. Proceso de inicio

El proceso de introducir cambios en el firmware para personalizar el dispositivo es complicado. Para solucionarlo existe la posibilidad de configurar un script que se descarga de un servidor configurable y se ejecuta al final del proceso de arranque, como se puede ver en la figura 4. Por ejemplo, se puede usar este script para que cada dispositivo use una dirección de red diferente sin usar asignación DHCP y usando la misma versión del firmware para todos los encaminadores de la sala.

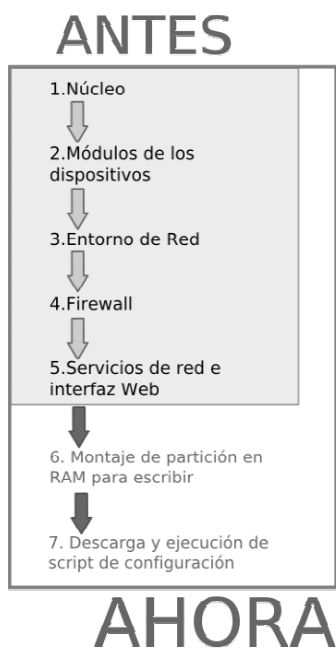


Figura 4. Modificación del proceso de arranque

De esta manera se evita que el profesor tenga que actualizar el dispositivo con una nueva versión del firmware compilada, y permite hasta tener una versión personalizada en cada aparato sin llegar a cambiar el firmware. La dirección del servidor permanecerá en memoria no volátil pero modificable, de tal manera que se pueda cambiar la dirección del servidor sin cambiar el firmware instalado.

### 5.3. Usuarios y permisos

Es necesario restringir las opciones disponibles de los alumnos, ya que pueden dejar el dispositivo en un estado irrecuperable. Para ello, se ha modificado el proceso de autenticación para limitar los permisos de los alumnos en el encaminador. El sistema tan solo disponía de un usuario administrador, así que se modificó el proceso de autenticación para añadir un usuario al que posteriormente se le pudieran limitar los permisos. El proceso de autenticación lleva varias fases, esquematizadas en la figura 5. El sistema primero comprueba que el password introducido coincide con el que tiene el sistema guardado para acceso vía consola (Paso 1). Después, la librería del interfaz gráfico, asigna las variables de entorno correspondientes al usuario (Paso 2). A continuación el servidor Web comprueba que el usuario introducido, además de tener acceso vía consola, tiene los permisos necesarios para poder acceder a la configuración vía Web (Paso 3). Por último, se dirige al usuario al menú de configuración que corresponda (Paso 4) según si es un usuario sin privilegios o el administrador (*root*).

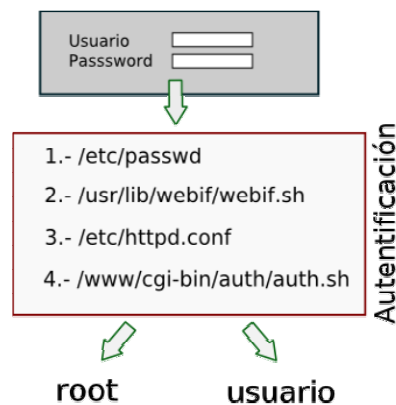


Figura 5. Proceso de autenticación



Figura 6. Captura del menu del usuario

El resultado es que el sistema tiene dos usuarios claramente definidos: Un usuario (que llamaremos *root*) dispondrá de todos los permisos y tendrá acceso total a todas las funcionalidades del dispositivo. Este usuario está pensado para ser usado por el profesor y/o administradores. El otro, (que llamaremos *usuario*) dispondrá de acceso a todas aquellas pantallas y comandos que permitan la realización de las practicas, pero sin embargo no tendrá acceso a aquellos comandos o interfaces que permitan cambiar permanentemente el estado del dispositivo, como por ejemplo los que permiten actualizar el firmware del aparato, cambiar el password, modificar el funcionamiento del hardware, etc.

La figura 6 muestra las diferencias que se observan entre los dos tipos de usuario. El administrador dispone de las opciones de gestión de paquetes, programador de tareas, editor de archivos, ejecución de comandos al inicio, actualizador de firmware... Estas opciones pueden alterar el estado permanente del dispositivo, así que son deshabilitadas en el menú de usuario. Por otra parte, el usuario ve una solapa nueva llamada "Práctica" que es donde los profesores pueden incluir los enunciados y otra documentación para que sea consultada por los alumnos mientras trabajan con el dispositivo.

#### 5.4. Documentación

Se ha documentado el proceso seguido para implementar las modificaciones realizadas. De esta manera los profesores, administradores o futuros desarrolladores que quieran añadir modificaciones sólo tendrán que leer la documentación aportada para hacerlo, evitando tener que estudiar el funcionamiento interno del dispositivo. Además se

han creado tres manuales dirigidos a aquellas personas que usaran en el encaminador modificado en el futuro:

- Manual de usuario: orientado a los alumnos, donde se explica como conectar al encaminador, que hace cada una de las opciones que se pueden usar en el interfaz Web y cuales son los comandos más usados para poder configurar el aparato desde un terminal en modo consola.
- Manual de administrador: con este manual los administradores / profesores pueden configurar el dispositivo y entender todas las opciones a las que tienen acceso y que no tienen los alumnos. además explica como utilizar el script que se ejecuta cada vez que se reinicia, y que permite aplicar una configuración diferente a cada encaminador sin tener que compilar.
- Manual de hacking: este es el manual más técnico ya que detalla cómo funciona el encaminador por dentro, cómo están estructurados los sistemas de ficheros, cómo funciona el proceso de arranque, cómo se instala el software de desarrollo y cómo se crea un entorno para poder modificar y compilar el firmware. Explica los cambios realizados respecto a la versión original del firmware y cómo se han implementado. Este manual está orientado a futuros desarrolladores que quieran seguir ampliando las posibilidades de este encaminador doméstico.

#### 6. Experiencia docente

Estos dispositivos serán introducidos en la docencia en el curso 2007/2008. Para ello los grupos de alumnos para prácticas dispondrán de los ordenadores del laboratorio y de estos encaminadores y podrán utilizarlos de la siguiente manera:



El laboratorio consta de 25 ordenadores personales, agrupados en bancadas de 5. A cada grupo de prácticas se le entregara uno o más encaminadores Linksys WRT54GL y suficientes latiguillos con conectores ethernet RJ-45.

Cada ordenador contará con dos tarjetas de red. Uno de ellos irá conectado, como hasta ahora, a la infraestructura de la universidad y a Internet. El otro interfaz de red lo usarán los alumnos para conectar los ordenadores de la sala con el encaminador y de esta manera poder crear distintas configuraciones de red, crear VLANs, observar el tráfico entre las máquinas, enrutar los paquetes de datos hacia una u otra máquina, etc.

Respecto al software a utilizar, cada ordenador dispondrá de un sistema operativo Linux como base y la aplicación Vmware [14] con la que podrán crear máquinas virtuales. Además, complementado con el uso de herramientas de monitorización de tráfico como Wireshark [15] (antiguo Ethereal [16]), y otras de generación de paquetes y gestión de redes, los alumnos podrán crear varias redes con máquinas físicas y virtuales, con tráfico real, y podrán estudiar los flujos de datos entre los distintos componentes.

## 7. Conclusiones

El bajo coste de los encaminadores domésticos unido a la disponibilidad de firmware alternativo libre en Internet que amplía la funcionalidad de estos dispositivos hace que sea posibles usarlos en el entorno docente para que los alumnos apliquen los conceptos de las clases de teoría y aprendan a configurar dispositivos reales.

Para adaptar su firmware al uso intensivo dentro de los laboratorios de prácticas, se ha modificado el código fuente para que cada vez que sean reiniciados, pierdan todos los cambios hechos durante la sesión anterior.

Del mismo modo, se han creado dos cuentas de usuarios con permisos diferentes, una para el administrador con todos los privilegios, y otra para los alumnos con opciones limitadas, para asegurar de esta manera la integridad del dispositivo y la seguridad de la red.

Adicionalmente se ha facilitado el proceso de personalización de estos dispositivos mediante el uso de scripts de configuración y documentando todo el proceso de adaptación del código fuente, así como de su funcionamiento interno.

Por último, se han redactado manuales de uso para los alumnos, profesores, y futuros desarrolladores.

## Referencias

- [1] G. Brown y M. Atkins. *Effective teaching in Higher Education*. Routledge, 1990.
- [2] Josep Casanovas, José Manuel Colom, Iñaki Morlán, Ana Pont, y M<sup>a</sup> Ribera Sancho. *Libro Blanco sobre las titulaciones universitarias de informática en el nuevo espacio europeo de educación superior*. ANECA, Proyecto EICE, Noviembre 2004.
- [3] *Ficha técnica de propuesta de título universitario de grado. Enseñanzas de grado en Ingeniería Informática*, Febrero 2006.
- [4] J.Liebeherr y M. El Zarki, *Mastering Networks, An Internet Lab Manual*. Addison Wesley, 2004.
- [5] M. Furminger. *Cisco Networking Academy Program*. 2005.  
[http://www.cisco.com/web/PT/assets/docs/apresentacao\\_4.pdf](http://www.cisco.com/web/PT/assets/docs/apresentacao_4.pdf)
- [6] OpNet Technologies Inc. Junio 2007.  
<http://www.opnet.com>
- [7] The Network Simulator – ns2. Junio 2007.  
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [8] "Linksys." *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Wikimedia Foundation, Inc. 5 Jun 2007  
<http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Linksys&oldid=134636701>.
- [9] GNU GENERAL PUBLIC LICENSE. Free Software Fundation. Junio 2007.  
<http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>
- [10] Linksys, A division of Cisco Systems, Inc.  
<http://www.linksys.com>
- [11] OpenWrt, Wireless Freedom. Junio 2007.  
<http://www.openwrt.org>
- [12] DD-Wrt. <http://www.dd-wrt.com>
- [13] FreeWrt. <http://www.freewrt.org>
- [14] Vmware. <http://www.vmware.com>
- [15] Wireshark: The World's Most Popular Network Protocol Analyzer. Junio 2007.  
<http://www.wireshark.org>
- [16] Ethereal: A network Analyzer. Junio 2007.  
<http://www.ethereal.com>