

Document downloaded from:

<http://hdl.handle.net/10251/46080>

This paper must be cited as:

Montagud Aguar, M.; Boronat Segui, F. (2013). Aprendizaje Mediante Simulación de Redes: Análisis, Implantación y Evaluación. VAEP-RITA. Versión Abierta Español-Portugués. 1(1):1-9.



The final publication is available at

Copyright Sociedad de Educación del IEEE (IEEE-ES)

Aprendizaje Mediante Simulación de Redes: Análisis, Implantación y Evaluación

Mario Montagud, *Student Member, IEEE*, and Fernando Boronat, *Senior Member, IEEE*

Title— Network Simulation as a Learning Resource: Analysis, Deployment and Evaluation.

Abstract—This paper analyzes the benefits of using network simulation as a learning resource in the Telematics Engineering area. Accordingly, a practices program, which can be done either through simulation or with real equipment, has been introduced in the core subject “Arquitectura y Redes Telemáticas” of the second year in the degree “Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e Imagen”. The satisfactory evaluation of this innovative teaching methodology is proved by the rating of the surveys answered by the students after the course completion.

Index Terms—Telemathics Engineering, Computer Networks, Network Simulation, Learning Resource, and Practice Training

I. INTRODUCCIÓN

LAS directrices marcadas en el nuevo Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) suponen un nuevo enfoque en los planes de estudio. Deberán adoptarse metodologías docentes innovadoras que potencien el pensamiento estratégico y la capacidad de los estudiantes para adquirir destrezas, conocimientos y actitudes que le ayuden a enfrentarse a futuros desafíos en su trayectoria profesional.

El título de “Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e Imagen”, cursado en la Escuela Politécnica Superior de Gandia (EPSG), perteneciente a la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), tiene como objetivo formar profesionales altamente cualificados en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs). Algunas de las principales competencias a adquirir por los estudiantes de esta titulación están relacionadas con el Área de la Ingeniería Telemática (ITEL). En su plan de estudios, podemos encontrar un bloque principal de asignaturas (ver Tabla I) que persiguen, en su conjunto, formar a los estudiantes en materias de planificación, diseño, configuración, instalación, administración, gestión y mantenimiento de redes de ordenadores (cableadas o inalámbricas), así como en aspectos de interconexión de distintas redes de área local y amplia (LAN y WAN).

The authors are with IGIC Institute and UPV, 46730, Grao de Gandia (Spain) (e-mail: mamontor@posgrado.upv.es, fboronat@dcom.upv.es).
DOI (Digital Object Identifier) Pendiente

TABLA I
ASIGNATURAS DEL BLOQUE DE INGENIERÍA TELEMÁTICA

| <i>Cuatrimestre</i> | <i>Asignatura</i> |
|---------------------|--|
| 1B | Fundamentos de Telemática |
| 2B | Arquitectura y Redes Telemáticas |
| 2B | Redes y Sistemas de Telecomunicación 1 |
| 3A | Redes y Sistemas de Telecomunicación 2 |

En la EPSG, se han venido utilizando distintas metodologías docentes (p.ej. aprendizaje por descubrimiento, activo, cooperativo, basado en el método del caso, técnicas de procesamiento de información y de aplicación de lo aprendido, etc.) en el bloque de especialización en ITEL en el antiguo plan de estudios de Ing. Técnica de Telecomunicación de manera que, en su conjunto y de manera gradual, se proporcione una formación adecuada y se potencien las habilidades teóricas y prácticas de los estudiantes [1].

Debido a su carácter eminentemente técnico, la adquisición de competencias en el Área de la ITEL no puede centrarse unívocamente en un aprendizaje basado en memorización, sino que deberán adoptarse procesos de aprendizaje complementarios basados en problemas ([2]-[3]), proyectos o actividades prácticas, con tal de posibilitar a los estudiantes la asimilación de conceptos teóricos a través de la propia experiencia. De esta manera, los estudiantes adoptan un rol participativo en las clases magistrales, asumen mayor responsabilidad y desarrollan su espíritu crítico, así como su capacidad de reflexión, comunicación y planificación.

Además, la adquisición de competencias en esta área de conocimiento requiere un proceso de aprendizaje continuo y gradual. Debe minimizarse el riesgo de avanzar hacia conceptos muy complejos sin haber afianzado de manera sólida aquéllos más básicos. Es por ello que debe guiarse a los estudiantes mediante un seguimiento adecuado, proporcionándoles herramientas de aprendizaje sencillas y flexibles que estimulen su compromiso y capacidad de adquisición de conocimiento. Dichas herramientas deberán, además, otorgar una transición suave entre el desconocimiento y los aspectos más avanzados de la ITEL permitiendo que los alumnos se inicien, familiaricen y profundicen, de manera progresiva, en el ámbito profesional en el que deberán convertirse en expertos al finalizar sus estudios.

En este contexto, las plataformas *software* de simulación de redes de ordenadores se están convirtiendo en herramientas pedagógicas idóneas en el Área de la ITEL para complementar y enriquecer el proceso de formación de los estudiantes. Los

simuladores permiten aplicar los conceptos teóricos adquiridos y experimentar con ellos de manera práctica, ofreciendo a los estudiantes una toma de contacto inicial con el mundo de las redes de ordenadores de una manera sencilla, flexible y relajada.

En este artículo se analizan las ventajas que supone el uso de simuladores de redes como recurso de aprendizaje y entrenamiento en el Área de la ITEL. A consecuencia de ello, se presenta una programa de prácticas para la asignatura troncal Arquitectura y Redes Telemáticas (ART), perteneciente al cuarto cuatrimestre del “Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e Imagen” (Tabla I), que también forma parte de la carga lectiva del curso de adaptación al Grado para estudiantes titulados de antiguos planes de estudio. Dichas prácticas persiguen ejercitar conceptos básicos y avanzados sobre el nivel de red de la arquitectura de capas del modelo OSI (*Open System Interconnection*). Las valoraciones de los estudiantes, a través de encuestas realizadas al finalizar la asignatura, corroboran los beneficios que aportan la adopción de esta metodología docente en cuanto a flexibilidad, grado de autonomía, ahorro de tiempo, adquisición de conocimientos y similitud con el trabajo mediante equipamiento real.

El resto del artículo se estructura como sigue. A continuación, se presentan algunos trabajos relacionados. En la Sección III se tratarán de reflejar las ventajas que supone el uso de simuladores de redes como recurso de aprendizaje y se presentan las pautas a seguir en el proceso de selección de la herramienta de simulación más adecuada. Los aspectos más relevantes del simulador de redes seleccionado se describen en la Sección IV. En la Sección V se presentan el conjunto de prácticas y actividades voluntarias que se han preparado e implantado con tal de complementar el proceso de enseñanza para las materias estudiadas en dicha asignatura. Los criterios de evaluación, seguimiento del éxito que aporta la adopción del programa de prácticas mediante simulación de redes, así como las impresiones de los alumnos se presentan y discuten en la Sección VI. Por último, en la Sección VII se exponen las conclusiones, así como algunas propuestas de trabajo futuro.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

En las enseñanzas técnicas resulta vital asentar los conocimientos adquiridos en clases magistrales mediante una visión práctica y aplicada de los mismos. Este aspecto enriquece, sin duda alguna, el proceso de aprendizaje y adquisición de competencias. Sin embargo, en el Área de la ITEL, frecuentemente no es viable (o es muy costoso) el montaje y puesta en marcha de prácticas de laboratorio que permitan a los estudiantes experimentar con escenarios de red reales de considerable envergadura, debido principalmente a su complejidad, diversidad espacial o a la disponibilidad limitada de recursos materiales. En este contexto, el estudio realizado en [4] trata de reflejar algunas dificultades que conllevan la realización de prácticas de laboratorio. Por un lado, resulta muy complicado realizar un seguimiento

personalizado de las tareas completadas, así como la detección de problemas particulares por cada alumno en grupos de tamaño elevado. Por otro lado, la realización de tareas prácticas implica mayor dedicación del docente y menor flexibilidad en cuanto a la comprobación de la consecución de los objetivos marcados. Por otra parte, en el estudio realizado en [5], un porcentaje considerable de alumnos consideró que la duración de las prácticas realizadas mediante equipamiento real en laboratorio no era la adecuada, puesto que muchas veces no eran capaces de terminarlas en la franja horaria planificada para las mismas, especialmente si ocurre algún tipo de imprevisto durante su evolución (uso de cables no adecuados o en mal estado, fallos de configuración, falta de coordinación, etc.).

En este contexto, los simuladores de redes brindan la oportunidad de analizar aspectos prácticos de servicios y protocolos de comunicaciones sin la necesidad de desplegar físicamente los escenarios de red. Tal y como se discute en la siguiente sección, el uso de los simuladores de redes puede suponer una serie de ventajas tanto en el ámbito académico como en el profesional. Es por ello, que en diferentes trabajos de innovación docente se ha tratado de implantar el uso de la simulación de redes como recurso de aprendizaje. Por un lado, en [3] se presentó una herramienta de simulación basada en web para que los estudiantes se inicien en el entorno de las redes de ordenadores de manera aún más sencilla y flexible. En dicho artículo se defiende que la mayoría de simuladores están orientados al campo profesional o científico, y que su uso como recurso pedagógico puede desbordar a las estudiantes noveles. Por otro lado, en [6] también se propone el uso de la simulación de redes con tal de facilitar y mejorar el proceso de aprendizaje de los estudiantes de una manera activa y estimulante. Los beneficios aportados por dicha metodología en cuanto a los conocimientos adquiridos y la capacidad de configuración de escenarios de red se evalúan estadísticamente a través de cuestionarios realizados por los alumnos, tanto antes de las sesiones de prácticas, como tras su conclusión.

La novedad de este artículo respecto a las anteriores contribuciones radica en que el programa de prácticas y actividades voluntarias preparados se pueden abordar de manera dual, es decir, tanto mediante el uso de herramientas de simulación como de equipamiento real en laboratorio. De esta manera, se complementan las ventajas que supone el uso de ambas metodologías. Asimismo, también se facilita que los alumnos puedan comprobar por ellos mismos la funcionalidad de los escenarios configurados mediante simulación en escenarios reales con equipamiento real. Por último, los tests realizados no están únicamente enfocados a determinar su nivel de aprendizaje en cada sesión de prácticas, sino a recopilar su opinión sobre otros aspectos importantes (ver Tabla IV), como el grado de flexibilidad y autonomía que les otorga el uso de la simulación de redes, el grado de dificultad que les supuso familiarizarse con la plataforma escogida, su nivel de similitud con el trabajo mediante equipamiento real,

así como su opinión sobre el contenido, duración y número de prácticas planificadas.

III. VENTAJAS DEL USO DE SIMULADORES DE REDES

Actualmente, las herramientas de simulación de redes son ampliamente utilizadas en los ámbitos académico y científico, así como en el entorno profesional. En el ámbito académico, su uso puede suponer las siguientes ventajas:

- Permiten dar un salto desde la pizarra, proyector y/o papel hacia la aplicación práctica de los conceptos técnicos estudiados sin necesidad de desplegar montajes físicos.

- Ofrecen una toma de contacto inicial con las redes de comunicaciones de manera flexible y modular, a la vez que global, puesto que permite controlar todos los aspectos relacionados con el diseño y configuración de las redes de ordenadores desde la misma plataforma de simulación.

- Son herramientas didácticas muy útiles para aprender a distinguir los diversos dispositivos de red, su cometido básico, los productos comerciales más extendidos, cómo se configuran para conseguir objetivos específicos, los aspectos básicos sobre la estructura funcional de las redes, así como los estándares y protocolos relacionados con el diseño, implantación e interconexión de redes telemáticas.

- Son un recurso alternativo de capacitación personal en aquellos casos en los que las prácticas reales pueden ser inviables o muy costosas (en cuanto a disponibilidad temporal y/o material). Mediante su uso, se simplifican los procesos de montaje, configuración y análisis de redes de ordenadores con topologías complejas de gran escala.

- Fomentan el trabajo autónomo y aportan mayor flexibilidad. Por ejemplo, si los alumnos no pueden asistir a alguna práctica (por motivo justificado) o no son capaces de terminar su trabajo en la franja horaria planificada para la misma, pueden guardar sus ficheros de configuración y retomar su trabajo en otro momento, desde el punto en el que se quedaron. Además, los profesores podrán evaluar a posteriori los archivos de configuración de cada estudiante de una manera más flexible y eficiente, posibilitando el seguimiento del trabajo realizado e identificando los conceptos que se han asimilado, así como posibles fallos conceptuales en su proceso de aprendizaje.

- Eliminan las barreras de disponibilidad y accesibilidad a los recursos del laboratorio. Los estudiantes pueden trabajar desde cualquier lugar, en cualquier momento. De esta manera, pueden repetir las prácticas cuantas veces requieran, así como profundizar en los conceptos planteados en las mismas mediante la adición de nuevas funcionalidades avanzadas. Aunque las prácticas de laboratorio fomentan el trabajo en equipo (puesto que los estudiantes deben compartir los recursos disponibles y planificar las tareas asociadas para configurar topologías de red avanzadas), limitan la flexibilidad y autonomía de los estudiantes. En algunos casos, el trabajo individual es indispensable para un buen aprovechamiento.

Por otra parte, en el entorno profesional los simuladores de redes también desempeñan un papel fundamental:

- Pueden ser utilizados como una estrategia en la etapa de diseño. Antes de implementar un sistema real, se puede analizar la idoneidad de varias alternativas en cuanto a selección de arquitecturas, tecnologías, protocolos, equipos, aplicaciones, sin tener que desplegar infraestructura física alguna. Por tanto, la simulación es una herramienta fundamental de apoyo a la toma de decisiones, puesto que permite predecir y/o evaluar el impacto de alguna decisión sobre el comportamiento del sistema antes de ser implementada.

- Son herramientas muy útiles para realizar estudios de dimensionado y requisitos de la infraestructura de red. Mediante su uso, se puede analizar la viabilidad de implementaciones experimentales o realizar tareas de pre-configuración de las mismas.

- Permiten analizar el funcionamiento y comportamiento de un sistema real mediante la monitorización de algunos parámetros de interés, sin necesidad de interrumpir temporalmente su operación y sin comprometer los recursos de la infraestructura de red. Se pueden realizar pruebas de rendimiento, medidas de calidad de servicio, etc., con mayor facilidad y flexibilidad, al mismo tiempo que controlar la evolución del sistema ante situaciones anómalas que pueden ser provocadas sin coste ni perjuicio alguno (p.ej. caídas de enlaces o equipos, congestión en la red, etc.).

A. Elección de la Herramienta de Simulación a Utilizar

En la actualidad, podemos encontrar una gran variedad de simuladores de redes, tales como: OPNET [7], Omnet [8], NS-2 [9], NCTU [10], Packet Tracer [11], GNS3 [12], etc. Algunos trabajos anteriores (p.ej. [13]-[15]) han abordado estudios comparativos entre algunos simuladores de redes bajo diferentes perspectivas: idoneidad para el ámbito educativo, estadísticas de uso en trabajos de investigación, soporte de diferentes tecnologías, fiabilidad y exactitud de los modelos implementados, características *open-source*, etc.

En [14], se plantea un procedimiento formal para la evaluación/selección de la herramienta de simulación más adecuada de una manera fundamentada e imparcial. Dicho método se basa en dos elementos clave: la norma ISO/IEC 9126-1, que especifica un modelo de calidad y evaluación de herramientas software, y una función de coste que pondera el peso de los diferentes parámetros definidos en dicho estándar: funcionalidad, confiabilidad, facilidad de uso, eficiencia, tareas de mantenimiento y portabilidad.

No es objetivo de este artículo proporcionar un estudio comparativo entre las herramientas de simulación existentes, aunque a continuación se detallan de manera cualitativa algunos criterios básicos que deben seguirse a la hora de seleccionar un simulador de redes con objetivos pedagógicos.

En primer lugar, la facilidad de uso es primordial. No resultaría óptimo la elección de un simulador de redes muy potente pero complejo de manejar, como por ejemplo NS-2 [9], para tareas docentes específicas (p. ej. realización de prácticas de duración limitada). Dichos simuladores serían más adecuados para proyectos de mayor envergadura, como

Trabajos de Fin de Carrera (TFC) o estudios de investigación. Debe seleccionarse un simulador que posibilite una curva de aprendizaje rápida, pues si la herramienta de simulación es sencilla e intuitiva, los conceptos se asimilarán con mayor fluidez.

En segundo lugar, las tareas de configuración en el simulador de redes deben ofrecer a los estudiantes un grado de realismo análogo a las tareas correspondientes en las prácticas de laboratorio con equipamiento real.

En tercer lugar, el software utilizado debe incorporar modelos y librerías de simulación fidedignas, de modo que los resultados de las pruebas de simulación reflejen fielmente el comportamiento de un sistema o red de comunicaciones real.

Por último, la herramienta de simulación a elegir debe ser lo suficientemente flexible para adaptarse al contexto de aprendizaje en el que se pretenda utilizar, abarcando desde los conceptos básicos hasta aquéllos más avanzados del campo de la ITEL, de manera flexible y gradual, proporcionando una transición suave y relajada hacia el trabajo con redes de ordenadores reales.

En la sección siguiente se presentan las características básicas de dos de los simuladores que más se ajustan a los criterios citados y que, por tanto, son muy adecuados para el estudio práctico de los conceptos estudiados en la asignatura ART.

IV. CARACTERÍSTICAS DE PACKET TRACER (PT)

Packet Tracer (PT) es una herramienta interactiva de simulación de redes utilizada como recurso pedagógico en el *Cisco Networking Academy Program* [16] para la preparación y entrenamiento de sus estudiantes en los diversos cursos y niveles de certificación (p. ej. Cisco CCNA, CCNP, CCIE ...).

Este simulador permite a los usuarios crear diversas topologías de red mediante una interfaz gráfica muy intuitiva. PT soporta multitud de componentes o dispositivos de red (ya sean genéricos o modelos específicos de Cisco), tales como PCs, servidores (p.ej. HTTP o FTP, con tal de simular transacciones entre equipos), tarjetas de red, interfaces de conexión, diferentes tipos de enlaces físicos (cableados o inalámbricos), *hubs* (concentradores), *switches* (conmutadores), *routers* (encaminadores), puntos de acceso, *firewalls*, impresoras, Teléfonos IP, etc.

La Tabla II esquematiza las principales funcionalidades, protocolos y tecnologías de red soportadas por PT, divididas en cada nivel del modelo de capas de interconexión de redes.

En cada uno de los equipos que conforman la topología de red se puede acceder a herramientas y funcionalidades habituales, tales como un navegador, un emulador de consola de comandos, la configuración de acceso telefónico o la configuración de redes inalámbricas y cableadas.

Los dispositivos se pueden configurar mediante interfaz gráfica o bien mediante una interfaz de línea de comandos o *Command Line Interface (CLI)*, en la que están soportados la mayoría de comandos de los sistemas operativos (IOS o *Internetwork Operating System*) de los dispositivos Cisco. Por

tanto, se puede trabajar con las redes configuradas como si se tratase de equipos reales, con un alto grado de fidelidad.

Además, el hecho de poder experimentar con la configuración de productos comerciales (en este caso de la marca Cisco), de manera muy similar a cómo se haría en los propios dispositivos, permite al alumno valorar el programa de la asignatura y su aplicación al entorno profesional.

Una vez completada la configuración física y lógica de la red, también se pueden hacer pruebas de conectividad (p.ej. mediante comandos *ping*, *traceroute*, etc.) con tal de comprobar la correcta configuración de la misma.

PT dispone de varios modos de funcionamiento: topología, tiempo real y simulación. En particular, el modo *simulación* resulta muy adecuado para fines didácticos, pues en este modo se puede monitorizar, con un elevado grado de control, el flujo de tráfico y la secuencia de operaciones originadas en la red como consecuencia del disparo de eventos específicos, tales como envío de comandos *ping*, o la solicitud de una página web. Por ejemplo, se pueden observar los procesos de creación y destrucción de paquetes, así como la ruta que siguen los mismos a través de la red, tanto paso a paso como en modo animación, siendo capaces, incluso, de filtrar la monitorización de protocolos específicos y ver la secuencia de procesos que se originan para un paquete específico en su paso por cada dispositivo en cada una de las capas del modelo OSI, así como inspeccionar el contenido de las cabeceras de dichos paquetes, cómo se toman las decisiones, etc. En caso de fallo, se puede buscar el último proceso que se realizó con éxito, con tal de identificar errores y/o incompatibilidades de configuración.

PT también soporta algunas funcionalidades avanzadas, como, por ejemplo, la extensión multiusuario, que permite desarrollar laboratorios colaborativos simultáneos entre diferentes equipos conectados en red, de modo que las tareas asociadas a la configuración de una topología de red compleja se pueden repartir entre diferentes estudiantes, compartiendo sus esquemas y archivos de configuración. Por tanto, PT también es una herramienta útil para potenciar el trabajo en grupo, estimulando la capacidad de planificación, cooperación (distribución de tareas), liderazgo y comunicación de los estudiantes, a través del intercambio de impresiones y la discusión de alternativas previas a la toma de decisiones.

TABLA II
FUNCIONALIDADES SOPORTADAS POR PACKET TRACER (PT)

| <i>Nivel TCP/IP</i> | <i>Protocolos/Tecnologías</i> |
|---------------------|---|
| Aplicación | HTTP, HTTPS, Telnet, SSH, TFTP, SMTP, POP3, DHCP, NTP, DNS, SNMP, AAA, Radius, TACACS, Syslog, ... |
| Transporte | TCP/UDP, ... |
| Red | <i>Encaminamiento:</i> RIPv1/v2/ng, EIGRP, OSPF Multiárea, Conmutación Multicapa, enrutamiento estático y redistribución de rutas |
| | <i>Direccionamiento:</i> IPv4, IPv6, ICMPv4 e ICMPv6, ARP, IPsec, NAT, ACLs, ... |
| Subred | Ethernet 802.3, VLANs, 802.11, 802.1q, HDLC, PPP, Frame Relay, ISDN, STP, RSTP, VTP, DTP, CDP, PaGp, LACP, EAP, WEP, WPA, ... |

Por tanto, mediante el uso de PT se pueden simular desde redes muy simples, con conocimientos mínimos de configuración, hasta topologías de redes muy complejas. Dicha herramienta posibilita gran flexibilidad en el proceso de aprendizaje, complementando las tareas de aula y laboratorio, y permite al estudiante experimentar y descubrir, de una manera activa, creativa y autónoma, el funcionamiento de las redes de ordenadores. Por otra parte, PT también es una herramienta muy útil para instructores/profesores a la hora de mostrar el funcionamiento e ilustrar la operación de diversos dispositivos, protocolos y tecnologías en distintas redes de comunicaciones.

Sin embargo, no todo son ventajas en el uso de PT. La licencia de uso de PT está restringida para usuarios registrados en la Academia Cisco. Además, dicha herramienta no soporta algunas de las funcionalidades o comandos avanzados de los dispositivos Cisco. Es por ello que una posible alternativa a dicho simulador es GNS3 [12], que se trata de un avanzado simulador/emulador gráfico de redes de uso libre, código abierto y multi-plataforma, que puede utilizarse para experimentar con redes complejas. GNS3 permite virtualizar equipos de interconexión reales de fabricantes referentes en el mercado, tales como Cisco o Juniper, mediante la carga y ejecución de imágenes de sus IOS. Es importante recalcar que GNS3 no incorpora las imágenes de los IOS de los equipos con los que se pretenda experimentar (el programa es libre, pero no los IOS). Una característica muy importante de GNS3 es que permite la comunicación entre redes físicas y redes virtuales, así como capturar los paquetes que pasan por enlaces virtuales. Por tanto, GNS3 es una plataforma mucho más potente, aunque también más compleja de manejar, que PT, que también puede ser utilizada como recurso de entrenamiento para estudiantes y profesionales del sector.

V. PROGRAMA DE PRÁCTICAS PARA LA ASIGNATURA ART

La asignatura ART tiene una carga lectiva total de 6 créditos ECTS, divididos en 4 créditos de contenidos teóricos y ejercicios prácticos y 2 créditos de prácticas de laboratorio. Los aspectos teóricos se explican mediante lecciones magistrales. Su aplicación analítica se intenta inculcar mediante el planteamiento de problemas, casos de uso y actividades de aula, mientras que su aplicación práctica se trabaja en sesiones de laboratorio, de manera que los estudiantes puedan aprender a través de su propia experiencia. En su plan docente se pretende dar un repaso al modelo de capas de la arquitectura de redes, centrándose principalmente en la organización interna, los servicios ofrecidos y las funciones básicas del nivel de red. Se estudia la problemática de la interconexión de redes y la solución aportada por la familia TCP/IP. Además, se estudian algunos servicios IP avanzados, tales como el uso de políticas que optimicen el espacio de direccionamiento IP (*Subnetting*, *Network/Port Address Translation* o *NAT/PAT*, ...), mecanismos de asignación dinámica de direcciones (*Dynamic Host Configuration Protocol* o *DHCP*), resolución de direcciones

(*Address Resolution Protocol* o *ARP*), así como filosofías de encaminamiento, basadas en vector distancia o en estado del enlace, y ejemplos de protocolos reales basados en las mismas (p.ej. *Routing Information Protocol* o *RIP* y *Open Shortest Path First* o *OSPF*). Por último, se estudian generalidades y la estructura básica de las redes de área amplia basadas en la conmutación de paquetes, así como algunos casos reales de tecnologías de redes de datos de alta velocidad, tanto mediante conexiones directas punto a punto (PPP) como mediante Circuitos Virtuales Permanentes o CVP (p.ej. *Frame Relay*).

A. Prácticas de Laboratorio/Simulación

Las prácticas están planificadas en 10 sesiones (se han preparado 8 prácticas, pero 2 de ellas se dividen en 2 sesiones) de laboratorio de 2 horas de duración. Cada práctica consiste en una breve explicación previa, seguida de la realización de ejercicios y cuestiones de una manera ininterrumpida. Seis de estas prácticas pueden realizarse tanto mediante montajes reales de laboratorio como mediante cualquiera de los dos simuladores presentados en la sección anterior: PT y GNS3.

Cada una de las prácticas se realiza tras haberse impartido previamente los contenidos teóricos a trabajar en las mismas mediante lecciones magistrales. Esto facilita el nivel de comprensión de las mismas, así como su estudio previo con tal de maximizar el aprovechamiento de dichas prácticas. Además, los alumnos disponen de los guiones de las prácticas con suficiente antelación con tal de posibilitarles su preparación previa a la realización.

En los guiones de las prácticas, se incluyen cuestiones estratégicas antes y después de analizar el funcionamiento/comportamiento de los diferentes mecanismos o técnicas bajo estudio. Esto, sin duda, ayudará a los estudiantes a estimular su capacidad de predicción, identificar posibles fallos de concepto, así como afianzar de manera sólida su proceso de adquisición de conocimiento.

Las memorias de las primeras prácticas son muy guiadas y auto-contenidas. Según avanzan las sesiones, las tareas a realizar se van exponiendo sin detallar los pasos a seguir ni especificar los modelos de los dispositivos de red a utilizar, dotando de cierta flexibilidad en cuanto a la configuración de los montajes. De esta manera, se estimula la creatividad y la capacidad de toma de decisiones de los alumnos, pues deberán ser capaces de encontrar qué dispositivos soportan las funcionalidades buscadas, siendo posible que se consiga el objetivo mediante la selección de diferentes dispositivos. En el laboratorio, esta técnica requiere de un mayor grado de atención por parte del docente con tal de evitar elecciones no adecuadas y de guiar a los estudiantes en caso de duda. Al finalizar las prácticas, se valoran las alternativas planteadas, así como otras posibles soluciones propuestas por el docente, con sus respectivas ventajas e inconvenientes. De esta manera, si las prácticas se realizan mediante simulación, también se consigue que su realización no se limite al equipamiento disponible en el laboratorio.

En el laboratorio se dispone de los dispositivos de red e interconexión necesarios para realizar cada una de las

prácticas propuestas. Sin embargo, en grupos de prácticas con muchos alumnos, éstos deben compartir los recursos disponibles. Este hecho puede conllevar que los alumnos piensen que las instalaciones y recursos del laboratorio deberían mejorarse para algunos casos concretos, tal y como se reflejó en el estudio realizado en [5]. Mediante simulación, esta limitación se puede superar con mayor flexibilidad, tal y como se ha discutido en la Sección III.

Las contenidos de las prácticas se han preparado de modo que los conceptos estudiados se introduzcan de una manera gradual, con tal de facilitar los procesos de adaptación y aprendizaje, permitiendo a los alumnos adquirir un dominio sólido de los conceptos estudiados en la asignatura, así como de sus procesos de configuración en dispositivos reales del mercado. Además, como las prácticas son de complejidad creciente, los conceptos aprendidos en prácticas anteriores serán pre-requisitos en las prácticas posteriores. Ello estimula un conocimiento integrado de la materia estudiada en la asignatura. Asimismo, las topologías de red necesarias para realizar las prácticas también aumentan en complejidad a medida que el curso avanza. En aquéllas más sencillas, no se proporciona ningún archivo de configuración. Pero en aquéllas más complejas, que impliquen topologías de red complejas o de gran escala, que incluyan servicios de red avanzados, se proporciona a los alumnos archivos con los escenarios pre-configurados. Esto, por una parte, potencia la adquisición de habilidades en cuanto a configuración de escenarios, aunque también ayuda a los estudiantes a minimizar el tiempo necesario para realizar las prácticas más costosas.

Aun cuando las tareas a realizar en las prácticas se han planificado con tal de poder realizarlas durante la franja horaria dedicada a las mismas, si los alumnos no son capaces de terminarlas o pretenden profundizar en los conceptos de las mismas, pueden guardar sus ficheros de configuración y retomar su trabajo en otro momento, desde el punto en el que se quedaron. Esto supone una importante ventaja que aporta el uso de la simulación de redes. Sin embargo, el docente también debe valorar que los alumnos tengan la habilidad suficiente para terminar las tareas requeridas durante el tiempo planificado para cada sesión de prácticas.

El programa de prácticas preparado, junto a los *objetivos de aprendizaje* de las mismas, se listan a continuación:

Práctica 1) Configuración Básica de DHCP: Configuración básica de equipos (interfaces de red y direccionamiento); configuración básica de *routers* (interfaces y direccionamiento, señales de reloj, encaminamiento estático y por defecto, ...); configuración de servicios DHCP (con reserva de direcciones), tanto en equipos emplazados en la propia red como en redes externas; monitorización de procesos y eventos DHCP; y resolución de problemas.

Práctica 2) Configuración Básica de NAT y Sobrecarga de Puertos: Configuración básica de equipos y *routers*; configuración de NAT estático y dinámico, tanto con y sin sobrecarga de puertos; configuración de Listas de Control de Acceso (ACLs); verificación de conectividad; monitorización

del funcionamiento de NAT; y resolución de problemas.

Práctica 3) Configuración Básica de Encaminamiento utilizando el Protocolo RIPv2 (RIP, version 2): Configuración básica de equipos y *routers*; configuración de RIPv2 y de rutas estáticas entre subredes distribuidas geográficamente; monitorización de tablas de encaminamiento, mensajes y estadísticas relativas a RIPv2; verificación de conectividad; y resolución de problemas.

Práctica 4) Configuración Básica de IPv6: Configuración básica de *routers* en cuanto a IPv6; configuración básica de encaminamiento estático y dinámico mediante RIPng (*Routing Information Protocol, next generation*); verificación de conectividad entre dispositivos IPv6; monitorización de tablas de encaminamiento y proceso de intercambios de mensajes RIPng entre *routers*; y resolución de problemas.

Práctica 5) Configuración Básica de OSPFv2 (Open Shortest Path First, version 2): Configuración de OSPFv2 básica y multi-área; monitorización de las relaciones de adyacencia entre *routers* vecinos y procesos de intercambio de información; monitorización de las tablas de encaminamiento; comprobación de conectividad; y resolución de problemas.

Práctica 6) Configuración de Conexiones WAN. Enlaces Punto a Punto y CVP Frame-Relay: Cambiar la encapsulación *High-Level Data Link Control* (HDLC) usada por defecto en los interfaces serie de los *routers* Cisco por la encapsulación *Point-to-Point Protocol* (PPP); configurar la autenticación *Password Authentication Protocol* (PAP) y *Challenge Handshake Authentication Protocol* (CHAP) para la encapsulación PPP; comprobación de conectividad; configuración de *Circuitos Virtuales Permanentes* (CVPs) Frame Relay con mapas estáticos; y resolución de problemas.

Por cada práctica se deben entregar una memoria individual que refleje las tareas realizadas, las respuestas a una serie de cuestiones planteadas y los resultados obtenidos, además de los correspondientes archivos de configuración. En dichas memorias se pretende que los alumnos sinteticen los conceptos aprendidos y se corrobore el aprovechamiento de las prácticas.

B. Trabajos Complementarios/Opcionales

Como trabajo opcional, se pueden complementar las memorias de las prácticas con documentación elaborada de los servicios implementados, procesos de configuración seguidos y los equipos utilizados, presupuestos, análisis comparativos, etc. Además, se puede encargar la reproducción real de las prácticas realizadas, mediante su montaje con el equipamiento disponible en el laboratorio, de manera que los estudiantes comprueben por ellos mismos la utilidad de los simuladores para aprender a diseñar y configurar redes de ordenadores.

Por otra parte, se posibilita a los alumnos la realización de trabajos voluntarios, basados en simulación, con tal de estudiar algunos conceptos interesantes no incluidos en el temario de la asignatura, o explicados superficialmente. Se proporciona a los estudiantes una lista de trabajos posibles, que es ampliable por sus propias propuestas. Dichos trabajos se presentarán brevemente al resto de compañeros con tal de compartir las experiencias aprendidas y las conclusiones derivadas.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todo fin de ciclo implica una valoración de impresiones y un balance de resultados. Ambos factores son importantes puesto que tanto la satisfacción de los estudiantes como los beneficios aportados por la implantación de la metodología docente propuesta son los que determinarán su éxito.

Por ello, al finalizar la asignatura se hizo entrega de unos cuestionarios a los alumnos con el objetivo de recoger sus impresiones en cuanto a una serie de factores clave como el nivel de complejidad, tiempo dedicado, flexibilidad, grado de autonomía, grado de realismo de las herramientas de simulación utilizadas y los conocimientos adquiridos. El listado de aspectos a valorar y los niveles de puntuación (en una escala 0-4) utilizados para medir el grado de satisfacción/conformidad de los estudiantes en cada uno de ellos se detallan en las Tablas III y IV, respectivamente.

Las encuestas fueron anónimas, de modo que la identidad de los alumnos queda protegida. Los resultados de las mismas, para un total de 59 estudiantes matriculados en la asignatura ART en el curso 2011/12, se muestran en los diagramas de sectores de la Fig.1.

Las opiniones de los alumnos respecto al primer aspecto muestran su rotunda conformidad en cuanto al número de prácticas planificadas en la asignatura. En cuanto al segundo aspecto, la mayoría de los estudiantes se mostraron conformes con la duración de las prácticas, aunque un porcentaje significativo del 20 % se mostró bastante en desacuerdo. Sin embargo, si no se hubiera dispuesto de la flexibilidad y el mayor grado de simplicidad que supone el uso de simuladores de redes, se piensa que este porcentaje sería todavía más elevado, tal y como sucedió en el estudio realizado en [5].

Los datos recogidos en el tercer aspecto indicativo a valorar muestran una rotunda conformidad de los estudiantes en cuanto a la adecuación de los contenidos de las prácticas y su vinculación con los conceptos estudiados en clases de teoría.

Según las opiniones recopiladas en cuanto a la cuarta premisa, los alumnos se mostraron en general bastante satisfechos con las destrezas y conocimientos adquiridas/os mediante la realización de las prácticas, pues únicamente un 15 % de los mismos se mostró bastante en desacuerdo.

Las opiniones de los alumnos respecto a la quinta afirmación corroboran nuestro pensamiento acerca de la sencillez de uso de las herramientas de simulación elegidas, aunque la gran mayoría de alumnos utilizó PT. De manera similar, el diagrama de sectores correspondiente al sexto aspecto refleja de manera rotunda el grado de satisfacción general en cuanto a la asimilación de los contenidos teóricos mediante el uso de simuladores de redes.

Según reflejan las opiniones de los alumnos respecto al séptimo ítem, en general, los alumnos se mostraron satisfechos con el grado de autonomía y flexibilidad que les aportó la realización de prácticas mediante simulación de redes. Concretamente, casi la mitad de los mismos se mostraron totalmente de acuerdo con esta afirmación. “*Si no hubiera sido así, no podría haber realizado las prácticas*”, comentaba

uno de los alumnos que compagina el trabajo con los estudios. Pensamos que el 8 % de los estudiantes que se mostró aquí bastante en desacuerdo se corresponde con aquéllos que disponen de total flexibilidad para realizar las prácticas mediante cualquiera de las dos opciones (simulación o trabajo con equipamiento real).

Los resultados recopilados respecto a la similitud con el trabajo mediante equipamiento real (Aspecto 8) son más dispares. Un 10 % de los alumnos prefirió no valorar este aspecto. Esto puede deberse principalmente a que algunos alumnos disponen de escasa o nula experiencia en cuanto a trabajo mediante equipamiento real. Además, algunos alumnos no han realizado ninguna práctica en el laboratorio debido a la dispensación de asistencia por motivos laborales. Las valoraciones negativas son bastante reducidas: un 1% en total desacuerdo y un 12 % en bastante desacuerdo. Una posible causa de este porcentaje de insatisfacción puede ser que la mayoría de alumnos utilizaron PT, con el que únicamente se puede experimentar con equipamiento Cisco. También es cierto que mediante simulación, aunque las tareas de configuración sean bastante fidedignas, las tareas relacionadas con el montaje físico, cableado y manipulación de equipamiento real se simplifican al máximo. Sin embargo, un porcentaje alto de estudiantes se mostraron satisfechos.

TABLA III
MÉTRICAS DE EVALUACIÓN

| <i>Opinión</i> | <i>Puntuación (0-4)</i> |
|--|-------------------------|
| No dispongo de elementos de juicio suficientes para poder opinar | 0 |
| Totalmente en desacuerdo | 1 |
| Parcialmente en desacuerdo | 2 |
| Bastante de acuerdo | 3 |
| Totalmente de acuerdo | 4 |

TABLA IV
CUESTIONARIOS SOBRE LAS PRÁCTICAS

| <i>Aspectos Indicativos a Evaluar</i> | <i>Valoración</i> |
|--|-------------------|
| 1. El número de prácticas es adecuado | |
| 2. La duración de las prácticas es adecuada | |
| 3. El contenido de las prácticas se corresponde con la materia teórica estudiada en clases magistrales | |
| 4. El esfuerzo dedicado a la realización de las prácticas se ha visto compensado con los conocimientos y destrezas adquiridos/as relativos a los conceptos estudiados en la asignatura | |
| 5. El simulador utilizado es sencillo e intuitivo | |
| 6. El uso de simuladores me ha permitido asentar y profundizar los contenidos teóricos | |
| 7. Las prácticas mediante simulación me han permitido mayor flexibilidad y autonomía | |
| 8. Las prácticas mediante simulación reflejan fielmente el trabajo en el laboratorio con equipamiento real | |
| 9. Estoy satisfecho/a con la experiencia y conocimiento adquirida/o mediante la realización de las prácticas | |
| 10. Los simuladores de redes son herramienta de entrenamiento muy útiles en el entorno académico | |
| 11. El uso de simuladores de redes fomenta la motivación, creatividad y capacidad de autoaprendizaje de los estudiantes. | |
| 12. Los simuladores de redes pueden ser herramientas muy útiles en el entorno corporativo | |

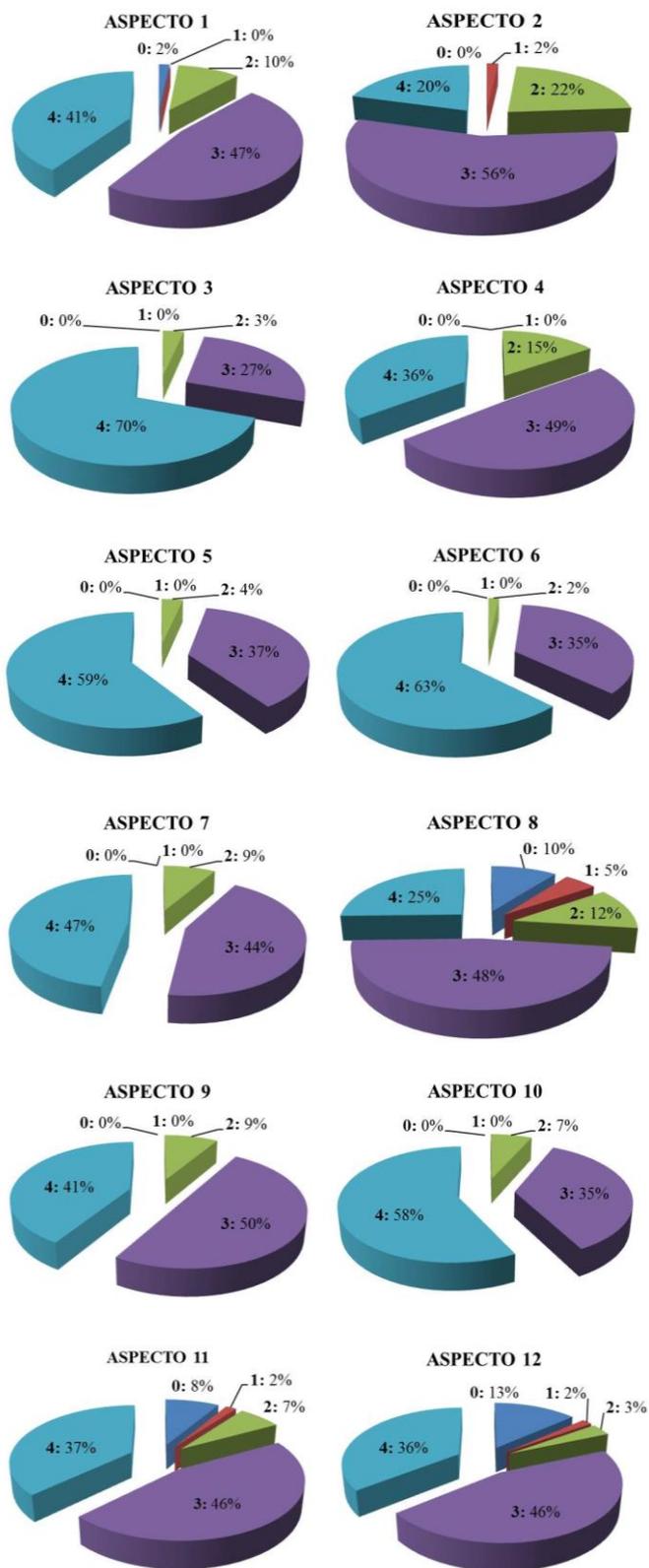


Fig. 1. Resultados de las Encuestas

Los resultados obtenidos a partir del noveno ítem muestran una satisfacción casi global (92 %) acerca de la experiencia adquirida mediante la simulación de redes, estando un 41 % de los alumnos totalmente satisfechos.

Respecto al décimo aspecto, podemos observar que un 58 % estuvo totalmente de acuerdo en que los simuladores son muy útiles como recurso de aprendizaje, un 35 % estuvo bastante de acuerdo, tan solo un 7 % estuvo parcialmente en desacuerdo, y no hubo alumnos en total desacuerdo.

Los resultados obtenidos a partir del aspecto 11 también son muy gratificantes, puesto que un 83 % de los estudiantes se mostró de acuerdo con las ventajas que aportan los simuladores en cuanto a estimular su motivación, creatividad y capacidad de auto-aprendizaje. Un porcentaje marginal de un 2 % se mostró en desacuerdo con estas afirmaciones.

Finalmente, el último aspecto de la encuesta trataba de recopilar la opinión de los alumnos en cuanto al uso de los simuladores en el entorno profesional. Aunque se trate de una asignatura de segundo curso, como se ha comentado, también forma parte del curso de adaptación al Grado para titulados en Ing. Técnica, por los que muchos estudiantes tienen probada experiencia en el entorno corporativo. Pensamos que el 14 % de los alumnos que prefirieron no valorar este aspecto se corresponde mayoritariamente con aquéllos que no disponen de experiencia laboral en este campo. Sin embargo, más del 80 % de los alumnos estuvieron de acuerdo con este ítem.

En general, se puede afirmar que los alumnos valoraron de manera muy positiva el uso de la simulación de redes como recurso de aprendizaje, puesto que el resultado de las encuestas es un indicador significativo de su grado de satisfacción sobre la implantación de esta metodología docente en la asignatura ART. Destacar que el proceso de evaluación es de vital importancia. No sólo es útil para refinar la metodología implantada, sino también es fundamental para identificar aspectos a mejorar en futuros cursos, así como para priorizar y/o planificar trabajos futuros mediante el uso de técnicas de simulación de redes.

Asimismo, con tal de corroborar o medir el éxito de esta metodología docente, se deberían comparar los resultados obtenidos por los alumnos de la asignatura con aquéllos obtenidos en cursos anteriores. Esta situación no es posible por el momento, ya que esta asignatura forma parte del nuevo plan de estudios de Grado y es el primer año que se imparte. Por tanto, no se disponen de precedentes directos.

Una posible consecuencia de la implantación de dicha metodología puede verse reflejada en la mejora sustancial de resultados en cuanto al porcentaje de alumnos presentados al examen final, así como en los resultados obtenidos por los mismos, en comparación con la asignatura que cubría una guía docente muy similar en el plan de estudios antiguo, que en este caso se denominaba “Redes y Servicios Telemáticos (RST)”. En concreto, en el curso 2010/2011, un 35 % de los alumnos matriculados en RST no se presentaron al examen final de la asignatura, mientras que un 21 % de los alumnos presentados no consiguieron superarla. En el último curso 2011/2012, el porcentaje de alumnos no presentados en ART se redujo a un 19 %, mientras que el porcentaje de suspensos fue únicamente de un 14 %. Esto puede deberse en cierta medida al mayor grado de adquisición de conocimientos, motivación e

implicación, unido al mayor grado de flexibilidad y autonomía, que la nueva metodología docente basada en simulación ha otorgado a los alumnos en su proceso de aprendizaje.

No sería adecuado realizar una comparativa con las notas de prácticas en ambas asignaturas (RST y ART) porque tanto el programa como la metodología de prácticas han cambiado.

En los cursos siguientes, se seguirá trabajando en la implantación de metodologías de innovación docente que permitan seguir con la mejora de los resultados obtenidos por los alumnos.

VII. CONCLUSIONES

En el marco del EEES, deben proyectarse recursos de innovación docente que estimulen, de manera activa e integrada, el compromiso, motivación, responsabilidad, creatividad, autonomía y capacidad de cooperación de los estudiantes en sus procesos de aprendizaje y adquisición de competencias. En este artículo se ha reflejado la importancia de los simuladores de redes como herramientas pedagógicas que permiten asimilar los conceptos teóricos de una manera más flexible, relajada y gradual, así como reconocer su aplicabilidad en el entorno corporativo a través de la propia experiencia.

Consecuentemente, se ha preparado un programa de prácticas para la asignatura ART con tal de asentar, profundizar y experimentar con los servicios ofrecidos por el nivel de red en la arquitectura de capas del modelo OSI. Estas prácticas se han preparado de modo que se puedan realizar tanto mediante montajes reales de laboratorio con equipamiento real como mediante el uso de simuladores de redes.

El uso de simuladores de redes como recurso de aprendizaje ha resultado ser una herramienta motivadora, tanto para el docente como para los estudiantes, que permite complementar y reforzar los conocimientos adquiridos y recrear casos de uso reales con los que se puede experimentar de manera fidedigna.

Aunque la base empírica no es muy extensa (el universo de sujetos y el tiempo de evaluación son reducidos), las opiniones recogidas parecen sustentar el uso de la simulación de redes ya que, en general, los alumnos han valorado, a través de las encuestas realizadas, de una manera muy positiva la implantación de esta metodología de entrenamiento y aprendizaje.

También es importante recalcar que la formación de los estudiantes en las materias de simulación de redes les posibilitará la realización de futuros PFC o trabajos de investigación relacionados con el área de ITEL (p. ej. comunicaciones multimedia, análisis de calidad de servicio, comparación de protocolos de encaminamiento, etc.) mediante el uso de herramientas avanzadas de simulación de redes, tal y como se ha venido haciendo recientemente en nuestra escuela y grupo de investigación.

Por último, aún considerando las múltiples ventajas aportadas por los simuladores de redes, es importante subrayar

que su uso no puede sustituir por completo las tareas de laboratorio con equipamiento físico (con las que realmente se enfrentarán los estudiantes en su etapa profesional), sino que deben considerarse como herramientas complementarias de apoyo, entrenamiento y capacitación.

Como propuestas de trabajo futuro, se valorará diseñar e implantar otros programas de prácticas basadas en simulación de redes en las asignaturas de tercer y cuarto curso del bloque de ITEL del nuevo plan de estudios de Grado que se está instaurando en nuestra escuela, así como también en futuros proyectos de investigación

Otras línea de trabajo futuro interesante consiste en analizar de manera rigurosa los beneficios que comportan para los estudiantes, tanto desde el punto de vista de la adquisición de destrezas prácticas como de su formación intelectual, la implantación de técnicas de virtualización o simulación en diferentes ámbitos docentes o de capacitación profesional, no solo en el área de la ITEL.

REFERENCIAS

- [1] J. Lloret, J.M. Jimenez, F. Boronat, J. Tomas y J.R. Diaz, "Utilización de diversas metodologías didácticas para desarrollar las habilidades de los estudiantes de Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones", *Congreso Internacional de Docencia Universitaria e Innovación (CIDUI)*, Barcelona (Spain), Julio 2006.
- [2] R. Lacuesta y C. Catalán, "Aprendizaje Basado en Problemas: Una experiencia interdisciplinar en Ingeniería Técnica en Informática de Gestión", *Actas de las X Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI 2004)*, Madrid (España), Julio 2004.
- [3] S. Cabrero, X. G. Pañeda, R. García, D. Melendi, R. Orea, "Herramienta educacional para el diseño y configuración de redes de comunicaciones", *Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje (IEEE RITA)*, Vol. 5, Núm. 1, Febrero 2010.
- [4] M. Riesco y M. Díaz, "Sistema Docente de Realimentación Inmediata en Clases Prácticas", *XI Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI 2005)*, Alicante, España, págs. 29, Julio 2005.
- [5] S. Sendra, A. Cánovas, M. García, J. Lloret, "Cooperative assessment in the hands on skills of computer networks subjects", *IEEE EDUCON Education Engineering 2010 - The Future of Global Learning Engineering Education*, Madrid (España), Abril 2010.
- [6] C. Goldstein, K. Stark, S. Leisten, and A. Tickle, "Effectively Using a Network Simulation Tool to Enhance Student's Understanding of Computer Networking Concepts", Capítulo IV del libro "Tools for Teaching Computer Networking and Hardware Concepts", Editor: Nurul Sarkar, Editorial: IGI Global, Febrero 2006, 386 páginas, ISBN13: 9781591407355, EISBN13: 9781591407379.
- [7] <http://www.opnet.com/>, Último acceso en Julio de 2012.
- [8] <http://www.omnetpp.org/>, Último acceso en Julio de 2012.
- [9] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, Último acceso en Julio de 2012.
- [10] <http://nsl.csie.nctu.edu.tw/nctuns.html>, Último acceso en Julio de 2012.
- [11] http://www.cisco.com/web/learning/netacad/course_catalog/PacketTracer.html, Último acceso en Julio de 2012.
- [12] <http://www.gns3.net/>, Último acceso en Julio de 2012.
- [13] M. Garcia, F. Boronat, y J. Lloret, "Network simulators comparative from the educational point of view", *International Technology, Education and Development Conf.*, Valencia (Spain), Marzo 2008.
- [14] A. García, L.M. Escobar, A. Navarro y A. Vásquez, "Método de evaluación y selección de herramientas de simulación de redes", *Revista Sistemas y Telemática*, Vol. 9, No.16, 55-71, Marzo 2011.
- [15] N. I. Sarkar y S. A. Halim, "Review of Simulation of Telecommunication Networks: Simulators, Classification, Comparison, Methodologies, and Recommendations", *Journal of Selected Areas in Telecommunications (JSAT)*, pp. 10-17, March 2011.
- [16] <http://www.cisco.com/web/learning/netacad/index.html>, último acceso en Julio de 2012.