

La Docencia de Redes de Computadoras y Sistemas Distribuidos para Ingenieros Informáticos

Jorge García Vidal, Llorenç Cerdà Alabern,
José M. Barceló Ordinas, Manel Guerrero Zapata, Julián Morillo Pozo

Dept. d'Arquitectura de Computadors

Universitat Politècnica de Catalunya

c/ Jordi Girona, 1-3, 08034 Barcelona

{jorge, llorenç, joseb, guerrero, jmorillo}@ac.upc.edu

Resumen

En este artículo se discute la docencia de las Redes de Computadores y Sistemas Distribuidos (RCySD) para escuelas de Ingeniería de Informática, y es fruto de la experiencia de los autores como profesores del Departamento de Arquitectura de Computadores (DAC) en la Facultad de Informática de Barcelona (FIB) [1] de la Universidad Politècnica de Catalunya (UPC) y de su actividad como investigadores del área.

1. Introducción

Hoy en día, la importancia de las asignaturas de Redes de Computadores y Sistemas Distribuidos (RCySD) en las carreras de Ingeniería de Informática está fuera de toda discusión. Estas asignaturas cubren varios aspectos de la informática, que van desde el desarrollo de aplicaciones distribuidas, al diseño de redes de comunicaciones o de equipos de red. Aunque se trata de un área de rápido crecimiento y transformación, los conceptos fundamentales se han mantenido inalterados desde el diseño de las primeras redes de paquetes, habiéndose alcanzado un estado de madurez y estabilización.

Una característica distintiva de las RCySD es la importancia que tienen los estándares, cuya existencia ha permitido la interconexión de equipos distribuidos por todo el mundo, y

el desarrollo de aplicaciones usadas por millones de usuarios. Sin embargo, los estándares también dificultan la introducción de nuevas arquitecturas y modelos de comunicación. La arquitectura de comunicaciones TCP/IP, que constituye la base de las redes actuales, fue desarrollada a principios de la década de los 70, antes de la aparición de los ordenadores personales, las redes de área local, la extensión de las comunicaciones ópticas y las comunicaciones móviles, del Web, de las aplicaciones Peer-to-Peer o de las redes sociales. Aunque dicha arquitectura ha presentado una gran capacidad de adaptación, en la actualidad se plantea entre la comunidad de investigadores la necesidad de un rediseño de Internet, que permita el desarrollo de nuevos modelos de comunicación.

Creemos que los actuales estudiantes de Ingeniería de Informática asistirán a lo largo de su carrera profesional a nuevos cambios en el mundo de las redes, y que por lo tanto, en su formación debe haber un balance entre contenidos que describen los sistemas actuales y los conceptos fundamentales, lo que les permitirá ser agentes de la introducción de innovación.

Cuando se habla de RCySD para Ingenieros Informáticos puede plantearse la cuestión de si los contenidos deben enfocarse fundamentalmente al desarrollo de aplicaciones, dejando aspectos más tecnológicos en un segundo plano. Creemos que proceder así sería un error, por el mismo motivo que sería un error

eliminar de la formación de los futuros ingenieros los aspectos relacionados con el diseño de los procesadores, subsistemas de memorias, sistemas operativos, etc, ya que una formación completa exige el conocimiento de los aspectos que soportan la tecnología de redes de una forma amplia.

Un importante obstáculo que aparece en la docencia de las redes reside en la dificultad que tienen muchos alumnos para relacionar lo que se explica en estas asignaturas con los conocimientos que adquieren en las demás asignaturas de la carrera. Al experto en el área esto puede parecerle sorprendente, ya que sabe que las mayor parte de los conceptos fundamentales de las RCySD aparecen en otros ámbitos de la informática, aunque tal vez formulados de forma distinta: Por ejemplo, el problema de la corrección y detección de errores es relevante en el estudio de sistemas de almacenamiento, el control del flujo es necesario en la comunicación entre procesos, el diseño del plano de datos (*Forwarding plane*) de los equipos de red es un caso especial del diseño de computadores de altas prestaciones (redes de interconexión, procesadores, memorias, etc) en el que se utilizan algorítmicos clásicos (búsquedas rápidas de datos en tablas mediante funciones de hash, búsquedas en árboles binarios, etc), mientras que el desarrollo de aplicaciones distribuidas o el diseño del plano de control (*Control plane*) de los equipos de conmutación es en gran medida un problema de Ingeniería del Software.

Uno de los objetivos de este artículo es intentar entender dónde reside el origen de este problema para después proponer posibles soluciones. Una vez hecho esto, se proponen contenidos y metodología docentes para las asignaturas de RCySD, basándose principalmente en los contenidos que se cursan en la FIB-UPC.

2. El enfoque tradicional de las asignaturas de RCySD

Desde nuestro punto de vista, hay dos hechos que han sido determinantes a la hora de definir la forma en que se han impartido las asignaturas de RCySD: la importancia del canal telefónico en las primeras redes de ordena-

dores y la de los estándares para las arquitecturas de protocolos.

Hasta hace muy poco tiempo, ha habido una relativa separación entre las tecnologías de comunicaciones y las tecnologías informáticas. La industria de comunicaciones ha estado tradicionalmente dominada por la telefonía, el servicio que con diferencia genera mayores ingresos. Las primeras redes de datos se basaron en las infraestructuras telefónicas, en las que el ancho de banda es reducido y la calidad de la línea no es la adecuada para la transmisión de datos. Por ello, la atención inicial en la conexión de dispositivos en red se centró en los protocolos que permitían enviar información por canales ruidosos y de reducido ancho de banda.

La importancia histórica del canal telefónico ha llevado a poner un énfasis excesivo en conceptos relacionados con la transmisión de datos tales como los de respuesta en frecuencia de un sistema lineal, ancho de banda, análisis espectral de señales, etc. Para asimilar estos conceptos son necesarios conocimientos previos sobre espacios de Hilbert, transformaciones lineales, o series y transformadas de Fourier, que no están incluidos en la formación básica que reciben los ingenieros informáticos. La exposición que se hace es por lo tanto poco rigurosa, y deja al alumno con la impresión de que le están enseñando contenidos que no puede conocer en profundidad.

Por otro lado la existencia de estándares es de fundamental importancia para la interconexión de equipos, lo que ha llevado al desarrollo de propuestas como el modelo de referencia OSI de ISO o la arquitectura TCP/IP. Estos estándares están descritos en documentos fácilmente accesibles y han tenido un gran impacto sobre los textos utilizados en la docencia de redes. En muchos casos los autores han utilizado el modelo referencia OSI para organizar los textos en capítulos o incluso han basado los contenidos en los mismos estándares, que evidentemente no están pensados como textos docentes.

Como consecuencia, las asignaturas de RCySD se han enfocado a la descripción del funcionamiento de los protocolos de comuni-

caciones, dejando de lado aspectos del diseño de equipos o de código de red. Estos últimos aspectos se apoyan en una gran cantidad de ámbitos distintos (diseño electrónico, ingeniería del software, sistemas operativos, etc) lo que dificulta su exposición de forma estructurada.

Aunque en nuestra opinión los protocolos de comunicaciones son probablemente la parte más importante del contenido de las asignaturas de RCySD, creemos que al ignorar los aspectos de diseño de equipos y código de red se ha cometido un doble error ya que, por una parte, se ha hurtado a los alumnos el conocimiento de una parte importantísima de la tecnología de redes, mientras que por otro lado se ha desaprovechado el hecho de que los alumnos de Ingeniería de Informática tienen los conocimientos previos necesarios para entender los aspectos de implementación de protocolos y equipos, que les permitiría afianzar en mayor medida los contenidos de RCySD.

Además, incluir estos aspectos no significa que sea necesario hacer un cambio radical de los contenidos de las asignaturas, ya que en muchos casos basta con incorporar los ejemplos adecuados. A continuación pondremos varios ejemplos que, según nuestra experiencia, son útiles para motivar a los alumnos de una Ingeniería Informática:

- Introducir en el temario aspectos básicos del diseño de equipos de red. Distinguir entre los planos de datos, control y gestión, de forma que el alumno aprecie las dificultades de diseño que aparecen para cada componente de los equipos. Discutir diferentes arquitecturas de diseño de routers y conmutadores, señalando los diferentes cuellos de botella que aparecen en su diseño.
- Introducir los esquemas clásicos de resolución de direcciones de nivel 2 mediante tablas de hash o memorias direccionables por contenido (CAM), o la discusión de las redes de interconexión, permiten también entender aspectos claves del diseño de los conmutadores LAN. También es enormemente ilustrativo el discutir di-

ferentes algoritmos de resolución de rutas en redes IP (ej: PATRICIA trees, tablas de hash), de forma que los alumnos entiendan mejor las ventajas e inconvenientes de las tecnologías de red orientadas a la conexión y que utilizan circuitos virtuales, con las tecnologías basadas en datagrama.

- A la hora de explicar la conexión de ordenadores mediante una red de área local, por ejemplo Ethernet, es interesante explicar cómo funciona un NIC y cuál es el mecanismo de comunicación mediante DMA, interrupciones y anillos de paquetes de la tarjeta de red y el driver.
- Cuando estudiemos TCP/IP, podemos explicar cómo se integra el código de networking dentro del SO y cuáles son los mecanismos de coordinación interna (por ejemplo, interrupciones software). Es interesante discutir aspectos del diseño de TCP/IP que son comunes a otros mecanismos de comunicación entre procesos, tales como la dificultad de establecer un control de flujo entre procesos productores y consumidores situados en diferentes máquinas.
- Explicar la relación entre sockets y otros APIs con el código de networking, de forma que vean la conexión entre la programación de aplicaciones distribuidas y los protocolos de red. Es especialmente interesante que los alumnos comprendan los cambios de estado de TCP y los mensajes de señalización generados (SYN, SYN-ACK, FIN, etc) como consecuencia de la invocación de funciones de sockets.

Por otro lado, estos cambios no deben afectar únicamente a las asignaturas de RCySD, sino que deberían también ampliarse a otras asignaturas de la carrera: es interesante, por ejemplo, que en asignaturas de Estructura de Computadores o de Arquitectura de Computadores se comenten aspectos relacionados con el diseño de equipos de red, que en asignaturas de Sistemas Operativos se haga referencia a la integración del código del TCP/IP con el

resto de subsistemas del SO, o que en asignaturas de Ingeniería de Software se comenten los problemas del diseño del control plane de los equipos de conmutación.

La bibliografía actual sobre RCySD es muy abundante. Destacaremos dos textos de gran calidad:

- Kurose, Ross, *Computer Networking: A Top-Down approach Featuring the Internet*, 3rd Edition, Ed. Addison-Wesley, 2004.
- L. Peterson, B. Davie, *Computer Networks, A System Approach*, 4th edition, Ed. Morgan-Kaufman, 2007.

El primer libro citado tiene como característica reseñable el hecho de que expone la materia partiendo de las aplicaciones y acabando en las tecnologías más próximas a la transmisión de datos.

Sobre los aspectos relacionados con el diseño de equipos y código de red, la bibliografía disponible no es muy abundante, aunque consideramos que es suficiente. Destacaremos los siguientes textos:

- G. Varghese, *Network Algorithms*, Ed. Morgan Kaufmann, 2005.
- W. Richard Stevens, *TCP/IP Illustrated*, Vol I and II. Ed. Addison Wesley, 2004.
- W. Richard Stevens, Bill Fenner, Andrew M. Rudoff *UNIX Network Programming*, Ed. Addison Wesley, 2004
- D. E. Comer *Network System Design using Network Processors*, Ed. Prentice Hall, 2004.
- Cursos *EE384X: Packet Switch Architectures - I* y *EE384Y: Packet Switch Architectures - II*, de Stanford University, impartidos por N. McKeown, con material disponible en las páginas de las asignaturas.

El primer texto contiene abundante material sobre diseño de equipos y protocolos que es difícil de encontrar en otras referencias. Los

dos primeros libros de W. Richard Stevens son en nuestra opinión los mejores textos para entender la arquitectura de protocolos TCP/IP, aunque debido al fallecimiento del autor adolecen de falta de actualización. El material disponible de los dos cursos de la Universidad de Stanford es excelente para abordar el problema de diseño de conmutadores y routers.

3. Propuesta de temarios

A continuación se hace una descripción detallada de un posible conjunto de contenidos y técnicas docentes para la docencia de RCySD en una escuela de Ingenieros Informáticos. Nos hemos basado en los temarios ofrecidos por la FIB de la UPC.

Las asignaturas son:

- *Xarxes de Computadors*, XC (Redes de Computadores),
- *Projecte de Xarxes de Computadors*, PXC (Proyecto de Redes de Computadores),
- *Protocols d'Internet i Aplicacions Multimèdia*, PIAM, (Protocolos de Internet y Aplicaciones Multimedia),
- *Serveis Públics de Dades*, SPD, (Servicios Públicos de Datos),
- *Seguretat en Sistemes Informàtics*, SSI, (Seguridad en Sistemas Informáticos),

siendo las dos primeras asignaturas obligatorias y las tres últimas son optativas.

4. Redes de Computadores

La asignatura de *Xarxes de Computadors*, XC (Redes de Computadores) [5] es una asignatura obligatoria del segundo ciclo. XC es la primera asignatura sobre Redes de Computadores de la carrera. Por lo tanto, su objetivo es explicar los conceptos básicos sobre las Redes de Computadores.

XC es una asignatura cuatrimestral que se impartió por primera vez en su formato actual en otoño de 2004. El formato actual es

substancialmente distinto al que tenía anteriormente. El cambio fue debido a una revisión del plan de estudios. Básicamente, el cambio consistió en fusionar dos asignaturas de redes que cubrían un temario similar y que tenían un número de créditos aproximadamente igual a la mitad, y añadir sesiones de laboratorio.

4.1. Metodología docente

La asignatura de XC tiene 7.2 créditos ECTS (*European Credit Transfer System* [14]). Los créditos ECTS estiman la carga de trabajo media de un alumno, y equivalen entre 25~30 horas de trabajo (horas de clase, estudio u otros). En XC hay una carga de trabajo estimada de 180 horas.

La asignatura XC está formada por clases teóricas presenciales donde se explican conceptos teóricos y se resuelven problemas tipo, y por clases de laboratorio.

Las clases teóricas se imparten en 2 sesiones de 2 horas cada una cada semana. La carga se estima en unas 59 horas presenciales y 86 horas de estudio. Los alumnos disponen de una colección de problemas que el profesor resuelve en las clases presenciales. Los alumnos también disponen de controles y exámenes de cursos pasados (muchos de ellos resueltos), que forman un papel importante en el estudio de la asignatura. Esta información está disponible en la página web de la asignatura que mantiene el Departamento [4].

La carga del laboratorio está organizada en 22 horas presenciales + 13 horas de trabajo personal. El laboratorio forma una parte fundamental de la asignatura. Por ese motivo, la actividad y metodología usadas en el laboratorio se explican en detalle en la siguiente sección.

4.2. Laboratorio

La asignatura de redes de computadores tiene la ventaja de que muchos de los conceptos explicados en las clases teóricas se pueden experimentar con prácticas de laboratorio con equipos reales. La experimentación con estos equipos aporta muchos beneficios desde el punto de vista educativo y de formación. En

primer lugar, el laboratorio se convierte en un lugar de relación entre los estudiantes, puesto que muchas prácticas deben realizarse en grupo. En segundo lugar, ver cómo funcionan en equipos reales los protocolos que se explican en teoría, ayuda a entenderlos mejor y de forma más divertida para los estudiantes. Finalmente, la de interconexión y configuración de equipos aporta conocimientos que no podrían adquirirse de otro modo.

Las sesiones de laboratorio se desarrollan en clases presenciales de 2 horas semanales. Para realizar las prácticas, los grupos de teoría se dividen en subgrupos de 20 alumnos como máximo. Las prácticas se hacen en aulas equipadas con PCs, a las que se añaden equipos de comunicaciones (*routers* y *switches*) instalados en dos *racks* con ruedas (ver la figura 1). Estos equipos son bastante caros. Por este motivo se guardan bajo llave en una aula contigua. El profesor traslada los dos *racks* al laboratorio sólo durante la realización de la práctica. Después se recogen los cables y se esconden de nuevo los equipos para que las aulas puedan ser usadas por otras asignaturas.



Figura 1: Sesión de laboratorio de la asignatura de XC.

Cada sesión de laboratorio tiene un enuncia-

do con una descripción teórica de los conceptos que se van a estudiar y un guión detallado de lo que tiene que hacer el alumno durante el desarrollo de la práctica. La recopilación de enunciados puede adquirirse en el centro de reprografía de la FIB [11]. Los alumnos deben adquirir esa publicación al inicio del curso. Las prácticas realizadas pueden consultarse en el web de la asignatura [4].

Los alumnos deben leer el enunciado previamente a la realización de la práctica. Las prácticas están en buena medida sincronizadas con las clases teóricas. De este modo, el estudio del enunciado de la práctica sirve también de repaso y comprensión de los conceptos explicados en las clases teóricas.

Por ejemplo, una sesión consiste en el estudio del protocolo de encaminamiento RIP. La práctica describe cómo se configura RIP en un router CISCO y propone montar una red que usa este protocolo. Para su estudio, la práctica propone cambiar la configuración de la red al mismo tiempo que se observan los mensajes enviados por el protocolo de encaminamiento, y cómo evolucionan las tablas de encaminamiento de los *routers*.

Una parte innovadora del laboratorio es el método de evaluación. La evaluación consiste en “minicontrols” de 15 minutos realizados al final de cada sesión, y un examen final realizado en la última sesión. El sistema de minicontrols tiene numerosas ventajas: incentiva la asistencia y participación, incentiva el estudio de la práctica y finalmente, tiene las ventajas de la evaluación continuada. El mayor inconveniente sería la carga que podría representar para el profesor: Preparar los minicontrols, fotocopiarlos, corregirlos y pasar las notas. Para ello se ha elaborado una aplicación web mediante la cual los alumnos responden preguntas tipo test. Esta aplicación se ha usado con éxito, permitiendo las ventajas mencionadas anteriormente con una carga mínima para el profesor. Esta aplicación se explica en el artículo presentado en las jornadas de docencia DUI [12].

4.3. Objetivos

El Objetivo de XC es dar a conocer los conceptos básicos de las comunicaciones entre terminales conectados en una red. Para ello hace falta conocer los distintos tipos de redes, tecnologías y protocolos usados en las redes de computadores. Dada la enorme importancia de Internet, se hace especial énfasis en los protocolos de Internet, llamados genéricamente TCP/IP.

4.3.1. Temario

XC está organizada en 5 temas, que se describen brevemente a continuación:

- Tema 1: *Introducción*: Descripción de Internet, paradigma cliente-servidor, modelo de referencia de una Red de Computadores, organismos de estandarización.
- Tema 2: *Nivel de red de Internet y protocolos relacionados*: El protocolo IP, DNS, algoritmos de encaminamiento, NAT, *firewalls*.
- Tema 3: *Protocolos punto a punto, el protocolo TCP*: Protocolos ARQ, protocolos UDP y TCP.
- Tema 4: *Redes de área local (LAN)*: arquitecturas, ethernet, conmutadores, VLANs, redes sin hilos (802.11).
- Tema 5: *Transmisión de datos*: Atenuación, descomposición en frecuencias, codificaciones y modulaciones, detección de errores.

4.3.2. Conocimientos

A continuación se listan los conocimientos básicos que tiene que haber asimilado el alumno durante el curso:

- Entender como está organizada la arquitectura de una red de computadoras. En particular, el modelo de referencia OSI.
- Conocer las clases de direcciones IP, direcciones públicas/privadas.

- Diseñar el esquema de subredes y asignación de direcciones IP más adecuado.
- Conocer el significado de los campos de la cabecera de un datagrama IP, así como el mecanismo de fragmentación.
- Conocer el funcionamiento del protocolo ARP y el significado de los campos de las tramas que usa el protocolo.
- Conocer el funcionamiento del protocolo DHCP, y los mensajes que se intercambian.
- Conocer el protocolo ICMP y los tipos de mensajes.
- Conocer la técnica de translación de direcciones IP (NAT).
- Saber interpretar y configurar la tabla de encaminamiento IP.
- Conocer los principales algoritmos de resolución de rutas en redes IP (*IP lookup*).
- Conocer el funcionamiento detallado del protocolo de enrutamiento RIP, y conceptos básicos de OSPF y BGP.
- Conocer el protocolo DNS, mensajes intercambiados y el significado de los campos de los mensajes.
- Conceptos básicos de seguridad en redes IP y configuración de *firewalls*.
- Conocer los protocolos ARP básicos: *Stop & Wait*, *Go Back N*, y retransmisión selectiva.
- Conocer los protocolos de nivel de transporte UDP y TCP.
- Conocer el mecanismo de ventana de TCP y los mecanismos básicos de control de congestión: *Slow Start/Congestion Avoidance*, *Fast Retransmit/ Fast Recovery*.
- Topologías y mecanismos básicos de acceso al medio en LANs.
- Conocer en detalle el protocolo Ethernet: Tramas, CSMA/CD, control de flujo, tipos de estándares.
- Conmutadores ethernet. Concepto de dominio *broadcast* y dominio de colisiones. Protocolo *Spanning Tree*.
- Algoritmos de resolución de rutas en redes Ethernet.
- VLANs y *trunking*.
- LANs sin hilos: Protocolo 802.11.
- Conceptos básicos de diseño de conmutadores y routers: planos de forwarding, de control y de gestión. Arquitecturas de conmutadores.
- Limitaciones de la transmisión de señales eléctricas: Atenuación y distorsión.
- Nociones básicas de la descomposición frecuencial de señales.
- Velocidad de modulación y criterio de Nyquist.
- Concepto de ruido y fórmula de Shannon.
- Codificaciones digitales: NRZ, Manchester, AMI, B8ZS, mBnL.
- Concepto de modulación digital: ASK, PSK, FSK.
- Detección de errores: Paridad, código LRC, CRC.

4.3.3. Habilidades y Competencias

El alumno ha de ser capaz de:

- Planificar y dimensionar una red de área local (LAN), así como los equipos de red necesarios y su ubicación.
- Configuración de conmutadores Ethernet y VLANs.
- Planificar el nivel de red: Subredes necesarias y asignación de direcciones IP.
- Configurar routers y protocolos de encaminamiento.
- Gestionar y administrar de red IP.

- Evaluar de forma básica los protocolos de red.
- Valorar y decidir sobre los servicios ofrecidos por los operadores de telecomunicaciones.
- Localizar y resolver fallos en una LAN, en sus distintos niveles: físico, enlace y red.

5. Proyecto de Redes de Computadores

La asignatura *Projecte de Xarxes de Computadors*, PXC (Proyecto de Redes de Computadores)[3] es una asignatura obligatoria de segundo ciclo para los estudiantes de Ingeniería informática que tiene como requisito XC.

Su objetivo principal es que los estudiantes aprendan los principios de diseño, organización, funcionamiento, configuración y evaluación de las aplicaciones de la red de computadores, protocolos y formatos especificados que se usan en Internet.

PXC es una asignatura cuatrimestral que hereda el temario de una asignatura del plan de estudios anterior; la ya extinta Arquitectura de Aplicaciones Distribuidas (AAD); pero sustituyendo su metodología docente. AAD se impartía a través de clases magistrales y laboratorios, y se evaluaba con las notas de los laboratorios y con un examen final. PXC utiliza PBL (Project Based Learning)[10] como metodología docente.

5.1. Metodología docente

La asignatura de PXC tiene 4.8 créditos ECTS, lo que significa que la carga del estudiante está estimada en entre unas 120 y unas 140 horas. PXC se enfoca cómo una simulación de la realización de proyectos de una empresa donde son los propios estudiantes los que se agrupan y deciden cual va a ser su proyecto para la asignatura. La asignatura está estructurada en dos partes: una primera parte de preparación antes del proyecto (que dura seis semanas) y una segunda parte que consiste en

la realización del proyecto (que dura ocho semanas) en grupos de cuatro estudiantes.

Durante la primera parte del cuatrimestre se imparten dos sesiones de dos horas cada una cada semana. De estas doce sesiones, seis son de teoría (incluyendo una sesión en la que se presenta la asignatura y otra en la que se explica la dinámica de proyectos a seguir y se dan ideas de posibles proyectos) intercaladas con otras seis que son de laboratorio. Las prácticas que se realizan en el laboratorio se hacen en grupos de dos estudiantes. Se estima que la dedicación del estudiante para cada práctica, a parte de las 2 horas presenciales, es de otras 2 horas no presenciales. Los enunciados de las prácticas pueden encontrarse en la página de la asignatura que mantiene el departamento[2].

Las sesiones de la primera parte del cuatrimestre tienen como objetivo sentar una base de conocimientos y habilidades comunes a todos los estudiantes, así como ir refinando con los estudiantes sus propuestas de proyecto.

La segunda parte del cuatrimestre consiste en el desarrollo del proyecto que han propuesto. La primera sesión de esta parte consiste en una presentación en clase de cada propuesta de proyecto. Cada propuesta de proyecto tiene como elementos fundamentales un esquema detallado de la arquitectura del proyecto, un diagrama de Gantt[15] y un análisis de riesgos[13]. Después de cada presentación, el resto de los estudiantes y el profesor tienen un turno de preguntas y comentarios.

Una vez se aprueban las propuestas de proyecto, los grupos van desarrollando el proyecto reuniéndose (ya sea todo el grupo o sólo el coordinador de grupo) periódicamente con el profesor que asesora y realiza un seguimiento continuado de los proyectos.

Hacia semana número 10 del cuatrimestre se realiza una segunda presentación donde se repasa el progreso de los proyectos (cambios, retrasos en tareas, problemas, etc.). En la penúltima semana se dedican las dos sesiones a realizar demostraciones de los proyectos. Y, finalmente, en la última semana los grupos hacen una presentación final de sus proyectos. En esta última presentación, asiste un segun-

do profesor de PXC que coge el rol de jefe del departamento.

5.2. Objetivos

El objetivo general de PXC es dar a conocer los principios de diseño, organización, funcionamiento, configuración y evaluación de las aplicaciones de la redes de computadores, protocolos y formatos especificados que se usan en Internet.

5.2.1. Temario

PXC tiene cuatro sesiones de teoría, tres de las cuales están complementadas por tres sesiones de prácticas que tienen el mismo nombre:

- Tema 1: XML: Se explica XML comparándolo con HTML para facilitar su comprensión a los estudiantes. A continuación se explican tecnologías relacionadas como RSS, XHTML, DTD, XML Schema, CSS, XSLT, XPATH, DOM y SAX. (Este tema se complementa con la práctica 4.)
- Tema 2: WebServices: Se explica que son los WebServices así como ventajas y desventajas de su uso. Se estudian dos tipos de WebServices XML-RPC y SOAP. Y se completa el tema con WSDL y UDDI. (Este tema se complementa con la práctica 5.)
- Tema 3: Seguridad: Define qué es seguridad en red, ataque, mecanismo de seguridad, servicio de seguridad. Explica las bases de la criptografía, autenticación, encriptación, sistemas de gestión de llaves y certificación. (Este tema se complementa con la práctica 6.)
- Tema 4: Web caches: En este tema se explican que son las web caches, diferentes tipos, como funcionan, que aspecto tiene el tráfico en Internet. El tema termina con una descripción de los CDNs (Content Distribution Networks).

5.2.2. Prácticas

PXC tiene seis sesiones de prácticas. En ellas se ven cuatro tecnologías de comunicación cliente y servidor. En dos de ellas (CGIs y Servlets) el cliente es un navegador. La principal diferencia entre CGIs y Servlets es que los CGIs son aplicaciones independientes y los Servlets son módulos que forman parte del servidor HTTP. En las otras dos tecnologías de comunicación cliente y servidor (RMI y WebServices) el cliente es una aplicación. La principal diferencia entre RMI y WebServices reside en que RMI es una API de JAVA y los WebServices pueden estar programados en cualquier lenguaje de programación.

A parte de las cuatro tecnologías de comunicación cliente servidor, se realiza una practica de XML donde los estudiantes aprenden a utilizar todas las tecnologías vistas en el tema XML. Y, finalmente, una sesión de seguridad donde el estudiante pone en práctica los conceptos de autenticación y certificados con un servidor de HTTPS.

Este es el listado de las prácticas:

- Práctica 1: CGIs
- Práctica 2: Servlets
- Práctica 3: RMI
- Práctica 4: XML
- Práctica 5: WebServices
- Práctica 6: Seguridad

5.2.3. Conocimientos

Estos son los conocimientos que debe haber asimilado el estudiante durante el curso:

- XML (HTML, XML, RSS, XHTML, DTD, XML Schema, CSS, XSLT, XPATH, DOM y SAX)
- Comunicación cliente-servidor (CGIs, Servlets, RMI, WebServices, CORBA, XML-RPC)

- Conceptos de seguridad (seguridad en red, ataques de seguridad, mecanismos de seguridad, servicios de seguridad, bases de la criptografía moderna, autenticación, encriptación, sistemas de gestión de llaves, certificación)
- Tráfico de Internet (Web Caches, Cache de navegador, proxy cache, gateway cache, características del tráfico de Internet, CDNs, reparto de carga).

5.2.4. Habilidades

Al final del curso el estudiante ha de ser capaz de:

- Elegir el protocolo y formato adecuado para cierta aplicación.
- Diseñar y configurar los elementos de una aplicación o un servicio de red.
- Definir o extender elementos de una aplicación para dar servicio a una organización considerando, entre otros, aspectos de interoperabilidad, rendimiento, escalabilidad y seguridad.
- Organizar, desplegar, implementar e instalar las aplicaciones necesarias para poner en marcha los servicios necesarios para una organización.

5.2.5. Competencias

El estudiante habrá adquirido o mejorado sus competencias en:

- Trabajo en equipo, expresión oral, planificación del trabajo, capacidad de buscar información, saber evaluar alternativas, saber defender un proyecto, saber tomar riesgos y realizar seguimiento de esos riesgos.

6. Asignaturas Optativas de Redes del Perfil de Redes Telemáticas y Sistemas Operativos

Los titulados que obtienen el perfil de Redes de Computadores y Sistemas Operativos

tienen los conocimientos y habilidades propios de un Ingeniero Informático y además están preparados para diseñar, dimensionar, instalar, administrar, mantener y evaluar las redes telemáticas y los sistemas operativos.

El perfil, ver [9], se compone de un conjunto de asignaturas optativas del área de redes de computadores, del área de sistemas operativos y de asignaturas pertenecientes a otras áreas y que complementan ambas áreas principales. Dentro del área de redes nos centraremos en las asignaturas: Protocolos de Internet y Aplicaciones Multimedia (PIAM), Servicios Públicos de Datos (SPD) y Seguridad en Sistemas Informáticos (SSI).

6.1. Protocolos de Internet y Aplicaciones Multimedia

La asignatura de *Protocols d'Internet i Aplicacions Multimedia*, PIAM, (Protocolos de Internet y Aplicaciones Multimedia) [6], pretende extender los conceptos básicos sobre protocolos TCP/IP y la estructura de las redes de comunicación de datos (Internet) presentados en las asignaturas obligatorias. En cierta medida se puede decir que los conceptos estudiados en esas dos asignaturas serían suficientes para entender el diseño de una red sencilla, mientras que en esta asignatura se abordan redes más grandes y con mayores prestaciones (e.g. Proveedores de Servicios de Internet o Redes Corporativas de tamaño medio-grande). Los principales temas tratados permitirán al estudiante entender:

- Encaminamiento en redes (OSPF, BGP, Peering, STP).
- Redes inalámbricas y soporte de movilidad (Redes inalámbricas, mobile IP).
- Multimedia (Codificación, mecanismos de planificación, protocolos de soporte a multimedia, Voz IP).

Es una asignatura de 6 ECTS: aprox. 150 horas de trabajo total del cual 60 horas son de clase y 90 de trabajo personal por parte del alumno. Las clases se dividen en 3 horas de teoría y 2 horas de Laboratorio a la semana.

Las sesiones de laboratorio constan de prácticas con routers, clases de problemas de pizarra y casos de estudio.

6.2. Servicios Públicos de Datos

La asignatura de *Serveis Públics de Dades*, SPD, (Servicios Públicos de Datos) [8], tiene como objetivo principal que los estudiantes completen su formación sobre redes de computadores, en particular hacer énfasis en los servicios y las redes que los operadores de telecomunicación públicos ofrecen y de las que disponen como soporte tanto a nuevas demandas de servicio (Internet pública, redes privadas virtuales, etc.) como al servicio convencional (telefonía, líneas dedicadas, etc.). Los principales temas tratados permitirán al estudiante entender:

- Redes de telecomunicación públicas: La red digital de Servicios Integrados (ISDN), Frame Relay, ATM (Asynchronous Transfer Mode).
- Internet Pública: Redes de acceso cableadas (Módems xDSL, HFC, FTTH).
- Internet Pública: Redes de acceso sin hilos (e.g. 2G: GSM, GPRS.3G: UMTS).
- Internet Pública: Apoyo tráfico IP en el troncal: Entornos WAN (IP/ATM, IP/MPLS, IP/SDH) y entornos MAN (Resilience Packet Rings: IEEE 802.17 RPR, Gigabit Ethernet)

Es una asignatura de 6 ECTS: aprox. 150 horas de trabajo total del cual 60 horas son de clase y 90 de trabajo personal por parte del alumno. Las clases se dividen en 3 horas de teoría y 2 horas de problemas a la semana.

6.3. Seguridad en Sistemas Informáticos

La asignatura de *Seguretat en Sistemes Informàtics*, SSI, (Seguridad en Sistemas Informáticos) [7], tiene como objetivo general abarcar el estudio de la seguridad informática en sus diferentes facetas, incluyendo su evaluación, la protección de las redes, los protocolos

y arquitecturas de seguridad y su implantación en el comercio electrónico.

Los principales temas tratados permitirán al estudiante entender:

- Evaluación de la seguridad
- Seguridad básica en Redes
- Protección en la Red
- Seguridad en Aplicaciones de Comercio-e

Es una asignatura de 6 ECTS: aprox. 150 horas de trabajo total del cual 60 horas son de clase y 90 de trabajo personal por parte del alumno. Las clases se dividen en 3 horas de teoría y 2 horas de Laboratorio a la semana.

7. Conclusiones

En este artículo se ha discutido la docencia de las Redes de Computadores y Sistemas Distribuidos (RCySD) para escuelas de Ingeniería de Informática.

En primer lugar se ha discutido las causas de un importante obstáculo que aparece en la docencia de las redes, y que reside en la dificultad que tienen muchos alumnos para relacionar lo que se explica en estas asignaturas con los conocimientos que adquieren en las demás asignaturas de la carrera.

Se ha abogado por la importancia de incluir aspectos de diseños de equipos y código de red, que permite a los alumnos relacionar mejor los conocimientos que adquieren en estas asignaturas con los tratados en otras asignaturas de la carrera.

Una vez hecho esto, se han propuestos contenidos y metodología docentes para las asignaturas de RCySD, basándose principalmente en las asignaturas que se cursan en la FIB-UPC.

Referencias

- [1] *Facultad Informática de Barcelona.*
<http://www.fib.upc.edu>.

- [2] *Web de la asignatura de Projecte de Xarxes de Computadors (PXC) en el Departament de Arquitectura de Computadores.*
<http://studies.ac.upc.edu/FIB/PXC>.
- [3] *Web de la asignatura de Projecte de Xarxes de Computadors (PXC) en la Facultat Informàtica de Barcelona.*
<http://www.fib.upc.edu/fib/infoAca/estudis/assignatures/PXC.html>.
- [4] *Web de la asignatura de Xarxes de Computadors (XC) en el Departament de Arquitectura de Computadores.*
<http://studies.ac.upc.edu/FIB/XC>.
- [5] *Web de la asignatura de Xarxes de Computadors (XC) en la Facultat Informàtica de Barcelona.*
<http://www.fib.upc.edu/fib/infoAca/estudis/assignatures/XC.html>.
- [6] *Web de la Asignatura Protocolos de Internet y Aplicaciones Multimedia (PIAM).*
<http://www.fib.upc.edu/es/infoAca/estudis/assignatures/PIAM.html>.
- [7] *Web de la Asignatura Seguridad en Sistemas Informáticos (SSI).*
<http://www.fib.upc.edu/es/infoAca/estudis/assignatures/SSI.html>.
- [8] *Web de la Asignatura Servicios Públicos de Datos (SPD).*
<http://www.fib.upc.edu/es/infoAca/estudis/assignatures/SPD.html>.
- [9] *Web del Perfil de Redes de Telemáticas y Sistemas Operativos.*
<http://www.fib.upc.edu/fib/infoAca/estudis/EI/XTiSO.html>.
- [10] Blumenfeld, P.C. et al.: *Motivating project-based learning: sustaining the doing, supporting the learning.* En *Educational Psychologist*, volumen 26, páginas 369–398, 1991.
- [11] Cerdà-Alabern, Llorenç y José M. Barceló-Ordinas: *Laboratori de Xarxes de Computadors (XC), REF. 44301.* CPET, Centre de publicacions del campus nord, 2006.
<http://cpet.upc.es>.
- [12] Cerdà-Alabern, Llorenç, José M. Barceló-Ordinas y Jorge García-Vidal: *WEBTEST: Herramienta web usada en la evaluación de prácticas de laboratorio.* En *Proc. of 4th Congrés Internacional "Docència Universitària i Innovació" (CIDUI)*, Barcelona, Spain, Julio 5–7, 2006. ISBN 84-8458-240-X.
<http://cidui.upc.edu>.
- [13] Crockford, Neil: *An Introduction to Risk Management (2nd ed.)*. 1986, ISBN 0-85941-332-2.
- [14] European Commission: *ECTS - European Credit Transfer and Accumulation System.*
http://ec.europa.eu/education/programmes/socrates/ects/index_en.html.
- [15] Gantt, Henry L.: *A graphical daily balance in manufacture.* En *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*, volumen XXIV, páginas 1322–1336, 1903.