

Diseño conforme a estándares: una aproximación al aprendizaje basado en problemas

Manuel J. Fernández Iglesias

Profesor Titular de Universidad. Departamento de Ingeniería Telemática

Comisionado para el Espacio Europeo de Educación Superior

Universidad de Vigo

manolo@uvigo.es

Resumen. En el ámbito tecnológico es cada vez más habitual el desarrollo basado en estándares, donde múltiples competidores desarrollan sus productos de acuerdo a normas y recomendaciones establecidas internacionalmente. Estos estándares garantizan la interoperabilidad y compatibilidad de los productos de distintos fabricantes. La diferenciación entre los productos de fabricantes diversos se basa entonces en otras características como el atractivo, las prestaciones, la facilidad de uso o el coste. En este artículo describimos cómo hemos trasladado este modelo a nuestros laboratorios docentes, con el objetivo de acercar la formación de los estudiantes al mundo real, fomentar habilidades como el trabajo en equipo, la negociación, o la motivación para innovar, e introducir a nuestros estudiantes en un entorno competitivo de un modo racional y controlado. Los estudiantes deben ser capaces de realizar un producto (dispositivo, programa, protocolo de comunicaciones, etc.) a partir de unas especificaciones que le proporciona el profesor, de manera que sea compatible e interoperable con los productos desarrollados por otros compañeros. La obtención en el tiempo marcado de un producto compatible garantiza el aprobado, reconociéndose el esfuerzo del estudiante y la adquisición de determinadas competencias específicas de cada materia. La excelencia se reconoce, con una nota superior, en función de otras características del resultado obtenido como sus prestaciones, funcionalidades adicionales, o una justificación motivada de por qué su solución es superior en algún aspecto a las demás.

Introducción

Además de las competencias técnicas en el ámbito de la ingeniería de telecomunicación, una escuela de ingenieros debe ofrecer una formación integral a los futuros profesionales. Los estudiantes no adquieren únicamente conocimientos, sino que también deben asimilar una manera característica de afrontar los problemas: buscar la solución más simple, más económica, y más apropiada en un contexto de aplicación concreto.

Una de las competencias transversales más importantes para nuestros graduados es la capacidad de integrarse en equipos de trabajo sin perder su particular estilo y

personalidad. En su ejercicio profesional, deben contribuir a un proceso sinérgico donde el resultado global va más allá de las contribuciones individuales de cada miembro del grupo.

Con el objetivo de configurar un entorno de trabajo que permita una formación en competencias con las características que acabamos de describir, hemos puesto en marcha en algunos de nuestros laboratorios docentes, ya desde el curso 1994-95, una metodología de trabajo que intenta recrear en un entorno pedagógicamente controlado lo que nuestros egresados encontrarán una vez que abandonen las aulas.

Actualmente, los estudios de ingeniería de telecomunicación en Vigo se basan en un programa de cinco años. Los tres primeros años se dedican a materias comunes para todos los estudiantes, donde asimilan los fundamentos de matemáticas, física, electrónica, procesado de señal e informática que necesitarán durante la especialización. Los dos últimos años se dedican a adquirir una especialidad: electrónica, teoría de la señal y comunicaciones, o ingeniería telemática. La experiencia descrita en este artículo se corresponde con dos asignaturas impartidas por el departamento de ingeniería telemática: Arquitectura de Ordenadores II, dedicada a las arquitecturas de microprocesadores y a las comunicaciones entre ordenadores, e Ingeniería de Protocolos de Comunicaciones, dedicada al diseño de protocolos para redes de ordenadores.

A continuación ampliamos la descripción del *mundo real* iniciada en esta introducción, entorno que pretendemos recrear en nuestros laboratorios. Después presentamos este contexto desde el punto de vista docente, junto con dos casos de estudio. Finalmente, trataremos de extraer algunas conclusiones.

La ingeniería telemática en el mundo real

El mercado de la telemática (redes de área local, telefonía móvil, redes de cable, ADSL, redes inalámbricas, ...) es un buen ejemplo de cómo funciona un mercado global con múltiples agentes [3]. La mayoría de nuestros futuros ingenieros desarrollarán su carrera profesional en este entorno. Independientemente de las funciones concretas de cada puesto de trabajo (investigación, desarrollo, comercialización, mantenimiento, ...) este contexto profesional tiene algunas características comunes que trataremos de identificar a continuación.

Al igual que ocurre en otros campos tecnológicos, la industria de la telemática es una industria basada en estándares [1]. La telemática se basa en redes, y los distintos equipos y servicios que componen dichas redes interactúan unos con otros, independientemente de quien los fabrique o provea. Existen diversos procedimientos para establecer un estándar, como la existencia de agentes dominantes, el consenso alcanzado en el seno de organismos de normalización, o la aceptación por parte de los usuarios de determinada solución en detrimento de otras. En cualquier caso, una vez que se establece un estándar (p.e. GSM para telefonía móvil, Bluetooth para comunicación entre dispositivos, ADSL para acceso doméstico a Internet, etc.), los distintos fabricantes desarrollan sus productos conforme al mismo. Las diferencias entre los productos de distintos fabricantes se establecen entonces en aspectos como la calidad, el diseño, las prestaciones, o el precio.

Como indicábamos antes, un desarrollo industrial concreto puede evolucionar hasta convertirse en un estándar. Una vez que se detecta una necesidad de los usuarios, diferentes proveedores tratan de ofrecer su solución particular. Si hay competencia, el propio mercado impone la integración de esas soluciones particulares, o la supervivencia de determinada solución en caso de que las soluciones originales sean demasiado diferentes. Esa integración o solución superviviente se convierte en un nuevo estándar. Este proceso produce estándares o normas *de facto* que, en muchos casos, terminarán convirtiéndose en estándares sancionados por algún organismo oficial.

En muchos casos este proceso está sujeto a duras limitaciones temporales. La disponibilidad temprana de una solución es un factor que tiene mucha influencia en la aceptación general, y por lo tanto facilita el camino hacia el estándar *de facto* y el reconocimiento oficial. Como se suele decir, quien da primero, da dos veces.

Como planteábamos al principio, consideramos que sería muy conveniente para nuestros estudiantes el poder familiarizarse con este entorno de trabajo [8]. De todos modos, también somos conscientes de que la experiencia debe desarrollarse en un entorno controlado. En otras palabras, es necesario incluir una componente pedagógica que facilite el compartir experiencias individuales, aprender de los errores, y analizar y evaluar las diferentes soluciones para proporcionar una formación en competencias con la mayor calidad posible.

Objetivos educativos

Hemos tratado de replicar el modelo descrito en el epígrafe anterior en nuestros laboratorios de Arquitectura de Ordenadores II e Ingeniería de Protocolos de Comunicaciones. El modelo se basa en tres aspectos complementarios: un entorno tecnológico de soporte, un modelo para la organización de los estudiantes, y un modelo de trabajo orientado a la evaluación de competencias. A lo largo de los párrafos siguientes trataremos de desarrollar estos aspectos.

Aspectos técnicos

El principal objetivo de Arquitectura de Ordenadores II es el desarrollo de artefactos basados en un microprocesador con una componente de comunicación entre procesadores. Para cubrir este objetivo utilizamos las herramientas usuales en este tipo de laboratorios [2]. En el caso del laboratorio de Ingeniería de Protocolos, nuestro objetivo es diseñar un protocolo de comunicaciones en un entorno de red. Para ello también utilizamos herramientas con gran aceptación tanto en la academia como en la industria [4][7].

Redactamos las prácticas como un estándar o norma hipotéticos. Este documento suele describir un componente de un sistema que se ha de integrar con otros componentes compatibles para configurar un sistema global. Por ejemplo, una de las descripciones del Arquitectura de Ordenadores II consistió en la especificación de un nodo de comunicaciones para un ordenador. En este caso, el sistema global consistía en una red de comunicación para un sistema multiprocesador. En el caso del laboratorio de Ingeniería de Protocolos, la descripción del *componente* consiste en la especificación

del protocolo tal como lo tiene que realizar un nodo de la red, y el sistema global es el resultado del funcionamiento concurrente de todos los nodos.

La descripción proporcionada a los estudiantes incluye la siguiente información:

- Funcionalidad. Utilizamos las técnicas de descripción y la notación que se utilizan en las normas y estándares reales, como máquinas de estados, diagramas de transiciones, o lenguajes formales. Se le proporciona al estudiante la información que normalmente incluyen los estándares: estructuras de datos, descripción del servicio proporcionado, evolución del sistema, tratamiento de errores, etc.
- La configuración del hardware y/o el software, dependiendo del laboratorio y convocatoria concretos. Esta información identifica las herramientas concretas de que dispondrán los estudiantes para realizar su trabajo. Esta información es más importante de lo que pudiera parecer. Los profesores estudian con atención los recursos con que contarán los estudiantes para realizar su trabajo, con la intención de obligarlos a planificar su uso eficiente.
- La descripción de la interfaz. Este es un aspecto que tratamos de manera muy cuidadosa. Los artefactos¹ desarrollados por los estudiantes deben ser capaces de interactuar unos con otros para configurar el sistema global, por lo que una realización correcta del interfaz es fundamental para que esa integración sea posible.

De todos modos, algunos aspectos se dejan sin definir de manera intencionada, con el objetivo de fomentar la creatividad y la cooperación entre los estudiantes. Cuando surge un detalle no contemplado por el estándar, los estudiantes deben ser capaces de llegar a un acuerdo entre ellos, bajo la supervisión del profesor, sobre qué solución adoptar para garantizar la interoperabilidad.

Las funciones del profesor incluyen, además de las funciones tradicionales, el evitar bloqueos durante la fase de desarrollo guiando a los grupos con dificultades, resolver conflictos debidos a interpretaciones diversas del estándar, o ayudar a los estudiantes a *comportarse socialmente* en este contexto donde se mezcla la competencia con la colaboración. En definitiva, los profesores compatibilizan las tareas docentes con las de un organismo de normalización.

Organización de los grupos de trabajo

Los estudiantes se organizan en equipos de dos a cuatro miembros, dependiendo del tipo del laboratorio. Normalmente los grupos de Arquitectura de Ordenadores II constan de cuatro miembros, y los de Ingeniería de Protocolos de dos o tres, dependiendo del curso académico. Para la elección del tamaño del grupo tenemos en cuenta las características concretas del trabajo a realizar (dificultad conceptual, complejidad técnica, etc.) y la dificultad de su seguimiento pedagógico.

¹ En este artículo llamamos *artefacto* al programa informático, dispositivo físico o combinación de ambos realizado por los estudiantes durante el curso. Es el producto final. Su naturaleza depende del laboratorio concreto y del curso académico. En Ingeniería de Protocolos los estudiantes desarrollan un programa, mientras que en Arquitectura de Ordenadores II desarrollan dispositivos con sus respectivos programas de control.

Los estudiantes pueden configurar los grupos libremente. Sobre todo en el caso de grupos de cuatro estudiantes, se les explica el concepto de grupo multidisciplinar y se les indica que tengan en cuenta las habilidades técnicas y sociales de sus compañeros de clase cuando configuren los grupos. Dado la naturaleza de estas materias y su ubicación en el plan de estudios, pueden existir diferencias significativas en el currículum académico de los estudiantes.

Una vez constituidos los grupos se les entrega la documentación de la práctica. Esta documentación incluye la descripción del trabajo que se debe interpretar como un estándar que hay que realizar. Además se les entrega otra información de interés como la bibliografía básica, la documentación del entorno de desarrollo, las hojas de características técnicas de los equipos que tienen que usar, la descripción del metalenguaje usado, etc. Además se le proporcionan referencias adicionales sobre sistemas reales relacionados con el que tienen que desarrollar, o sobre recursos en la Web relacionados con el tema.

Además de la documentación, los estudiantes reciben una planificación temporal completa donde aparecen todos los hitos relevantes, como reuniones de trabajo, fechas de entrega de resultados, evaluación, etc. Toda esta información se entrega con la máxima antelación posible para facilitarles la configuración de los grupos y la coordinación con otros cursos y actividades.

Organización del trabajo

El trabajo de los estudiantes se desarrolla a lo largo de cuatro fases: diseño preliminar, diseño final, evaluación, y puesta en común. Para cada fase se espera un resultado concreto, y los resultados de cada fase constituyen el material inicial para la fase siguiente. La documentación inicial descrita en el epígrafe anterior constituye el material de la primera fase.

Fase de diseño preliminar

Cada grupo tiene que producir un diseño preliminar del artefacto propuesto, una planificación de tareas, y una distribución del trabajo. Tienen que estudiar detenidamente el estándar propuesto para identificar qué es lo que tienen que hacer, y cómo lo van a hacer. Por ejemplo, la complejidad de los artefactos propuestos suele hacer conveniente una organización en módulos, que incluirá la funcionalidad esperada de cada módulo y los interfaces correspondientes.

En esta fase también tienen que identificar y definir aspectos no recogidos en el estándar, como lagunas en la especificación o cómo van a tratar aspectos no normalizados (calidad, funcionalidades adicionales, etc.) En cada caso tienen que proponer una solución válida y los procedimientos de prueba correspondientes. Una vez que han definido estos aspectos, los grupos proceden a realizar una distribución interna, y redactan un cronograma o calendario para la realización del proyecto.

Esta fase suele tener una duración aproximada de un mes, y los resultados de la misma son:

- Un documento de diseño preliminar, que recoge los aspectos descritos en los párrafos anteriores.
- Un calendario para la realización del proyecto, que incluye la distribución nominal de tareas para cada miembro del grupo, las dependencias entre estas tareas, los resultados esperados de cada una de ellas, y las fechas previstas para su comienzo y terminación.

Esta fase simplifica enormemente el trabajo posterior, ya que obliga a los estudiantes a realizar un diseño estructurado y explicita unos roles dentro del grupo que serán efectivos a lo largo del curso. Por otra parte, el diseño preliminar nos ayuda a evitar, o en todo caso a detectar lo antes posible, descompensaciones en las actividades de los miembros del grupo (p. e. miembros ociosos, alumnos sobrecargados, etc.)

Fase de diseño final

En esta fase se realiza el diseño final del artefacto propuesto. El proceso de diseño debe ser coherente con el documento de diseño, el calendario y la distribución de tareas de la fase anterior. El objetivo final de esta fase es la realización de un prototipo, conforme con el estándar, del artefacto definido inicialmente.

Esta fase tiene una duración aproximada de tres meses, y sus resultados son:

- El prototipo físico (un aparato) o lógico (un programa) del artefacto, dependiendo del laboratorio o del curso académico.
- La documentación correspondiente del proceso de realización.
- Un manual de referencia, que debe incluir una descripción general del resultado y de los requisitos de interfaz del artefacto realizado.

Fase de evaluación

La evaluación se basa en la documentación entregada por los grupos al final de las fases anteriores. Se realiza en dos niveles: artefacto y sistema global.

- La evaluación del artefacto se realiza con cada grupo por separado, y se divide en dos pasos: una prueba de realización que se centra en las prestaciones funcionales del resultado del trabajo (es decir, ¿funciona?), y una prueba de conformidad que se centra en el grado de cumplimiento del estándar (es decir, ¿hasta qué punto se satisfacen las especificaciones de la norma?) Además se confronta la documentación de diseño con la realización final para evaluar el proceso de diseño en su conjunto.
- La evaluación global se realiza con todos los grupos en común. Se integran todos los subsistemas y se realizan pruebas de interoperabilidad. Se tratan las soluciones a aspectos no recogidos en el estándar. Estas soluciones suelen incluir diferentes niveles de tolerancia a fallos, diferentes prestaciones, mejoras compatibles con el estándar propuesto, o diferentes grados de integración.

Fase de puesta en común

En esta fase se trata el proceso de diseño en su conjunto con todos los estudiantes. Cada grupo presenta su propuesta y se compara con las del resto de los grupos. La documentación final de todos los grupos se pone a disposición de los demás. Además de servir para evaluar el grado de madurez adquirida y el desarrollo de competencias transversales, esta fase es fundamental como realimentación para los profesores.

Casos de estudio

A continuación presentamos brevemente un par de ejemplos concretos de sendas ediciones de los laboratorios de Arquitectura de Ordenadores II² [5] e Ingeniería de Protocolos de Comunicaciones [6]. El primero de ellos tuvo lugar durante el curso 1994-95, y el segundo durante el curso 2003-04, casi diez años después.

Sistemas Telemáticos: Diseño de un enlace bidireccional entre procesadores

La propuesta inicial consistía en el desarrollo de un enlace bidireccional entre procesadores MC68000 como parte integrante de una arquitectura de memoria distribuida. El diseño debía de ser capaz de dar servicio a un núcleo de sistema operativo multitarea.

El estándar incluía una descripción funcional, y no preconizaba una realización física concreta. Además no se especificaba un ancho de banda (es decir, una velocidad de comunicación) objetivo, ya que se decidió evaluar el artefacto en función del compromiso alcanzado en cuanto a velocidad y coste, este último medido en base a los componentes hardware utilizados y la complejidad del software necesario. De todos modos, esperábamos de los estudiantes que hicieran suposiciones razonables en cuanto a la velocidad obtenida para una arquitectura concreta. Es decir, los estudiantes deberían diseñar la arquitectura del enlace bidireccional, y en función del diseño elegido debían tener unas expectativas razonables en cuanto a sus prestaciones.

Se proporcionó a cada grupo una estación de trabajo y dos ordenadores didácticos para el desarrollo con microprocesadores, así como todas las herramientas hardware y software necesarias. Además se les esbozó una solución muy sencilla, pero ineficiente tanto en coste como en prestaciones. El desarrollo y realización correcta de esta solución suponía el requisito mínimo para superar la asignatura.

Los estudiantes desarrollaron varias soluciones diferentes, todas ellas interoperables. A continuación destacamos dos de ellas:

² En realidad, la asignatura pertenecía entonces al plan 1985 y todavía se llamaba Sistemas Telemáticos.

- Un grupo propuso una solución de muy bajo coste y bajas prestaciones. Consta de un hardware mínimo muy sencillo³ que proporcionaba un enlace unidireccional. La gestión del enlace se realizaba mediante rutinas software funcionando en los ordenadores didácticos. La comunicación bidireccional se lograba conectando dos módulos, uno para cada sentido. Esta solución tenía las mismas prestaciones que la solución básica esbozada al principio del curso, pero a un coste sensiblemente menor (un 1% del coste en materiales de la solución comentada a continuación). Esta solución se consideró la mejor solución de bajo coste.
- Otro grupo propuso una solución de altas prestaciones con un coste elevado en componentes hardware. Esta solución necesitaba una fracción del software que la solución anterior, y ofrecía funcionalidades adicionales a las especificadas. Se trata de un sistema completamente bidireccional que ofrece dos modos de transmisión diferentes, y la posibilidad de que varios ordenadores accedan de manera concurrente a la memoria de otro ordenador. Esta solución era la más cara, pero también la que ofrecía las mejores prestaciones.

Durante las fases de evaluación del sistema global y la puesta en común posterior surgió el debate sobre si una solución que ofreciera comunicación en una sola dirección era conforme al estándar que exigía comunicación bidireccional. Durante este debate, guiado por los profesores, llegamos a la conclusión que si la descripción del interfaz de la solución propuesta ofrecía comunicación bidireccional, la solución era coherente con el estándar. En este caso, el sistema se configuraba internamente con dos artefactos, uno para cada sentido de la comunicación, mientras que hacia el exterior se veía como una caja negra que permitía la comunicación en ambos sentidos. Además se comentaron características no funcionales de las soluciones presentadas que ilustraban modos de trabajo típicos de la ingeniería: reutilización del trabajo, reducción de costes, imaginación, ...

Ingeniería de Protocolos: diseño del protocolo de configuración de una red de localización Bluetooth

Los estudiantes tenían que desarrollar un protocolo para la configuración de una red de localización Bluetooth diseñada en nuestro departamento. Esta red de localización se utiliza en servicios móviles dependientes del contexto, como comercio electrónico móvil, o guías electrónicas en museos donde el visitante recibe información personalizada dependiendo del punto concreto del museo donde se encuentre. En cualquiera de estos escenarios los servidores de información necesitan conocer la localización exacta de los usuarios en cada momento para enviarles esa información específica.

La red de localización se utiliza precisamente para localizar a los usuarios a partir de un terminal Bluetooth. El protocolo de configuración propuesto a nuestros estudiantes sirve para que los terminales Bluetooth tomen consciencia unos de otros y se organicen en una red de manera espontánea, de manera que la información dependiente del contexto pueda fluir sin problemas entre el servidor y cualquiera de los nodos Bluetooth.

³ Como curiosidad, el elemento más complejo era un cerrojo octal tri-estado.

El estándar propuesto a los grupos de trabajo tenía un fallo de diseño que afectaba a la reconfiguración de la red cuando más de dos nodos adyacentes fallaban de acuerdo a un patrón determinado. Si se daba este patrón de fallo, los nodos supervivientes no eran capaces de ponerse de acuerdo para enviar los mensajes al servidor de información.

Esta información no se proporcionó a los estudiantes. Esperábamos que los distintos grupos encontraran el error y consensuaran una modificación del protocolo (y por consiguiente del estándar) que garantizara el funcionamiento conjunto y la reconfiguración correcta de la red Bluetooth en cualquier situación de fallo de los nodos.

Ha de tenerse en cuenta que esto *no* era una tarea sencilla. Con la documentación inicial se les dio a los estudiantes un conjunto de pruebas de conformidad que debían pasar sus prototipos para ser aceptados:

- Después del proceso de configuración, ¿se generan siempre rutas de distancia mínima entre los nodos y el servidor de información?
- Después del proceso de configuración, ¿cada nodo es consciente del resto de los nodos de la red?
- ¿Es posible la existencia de círculos viciosos? Es decir, se puede generar una ruta para enviar información desde un nodo que vuelva a pasar por ese nodo sin pasar por el servidor?
- Si falla un nodo ¿se vuelven a crear rutas válidas para todos los nodos supervivientes? (patrón de fallos A)
- Si fallan dos nodos adyacentes [... patrón de fallos B] ¿se vuelven a crear rutas válidas para todos los nodos supervivientes?
- Si fallan tres nodos adyacentes [... patrón de fallos C] ¿se vuelven a crear rutas válidas para todos los nodos supervivientes?

De las pruebas propuestas, al menos una de ellas (¿cuál o cuáles?) no se podía superar con la versión del estándar propuesta inicialmente. Debido a las distintas planificaciones en el trabajo de los grupos, uno de ellos detectó el fallo antes que los demás. Cuando comentaron con los profesores esta eventualidad se les dijo que hablaran con el resto de los grupos y que se organizaran para contrastar el caso y así tener la certeza de que de hecho era un fallo del protocolo y no un fallo en su desarrollo.

Al cabo de una semana dos nuevos grupos detectaron el error, y al cabo de dos semanas todo el curso era consciente de la situación. Aunque se les recordó la posibilidad de trabajar conjuntamente en busca de una solución, solamente dos grupos fueron capaces de encontrar una solución al problema, a la que llegaron de manera independiente. Al igual que ocurre en el mundo real, parece que resulta difícil compartir una información que da una ventaja comparativa con respecto al resto.

Conclusiones

Nuestra experiencia a lo largo de los últimos diez años nos lleva a afirmar que este modelo nos permite introducir conceptos y modos del mundo real sin menoscabo de los aspectos pedagógicos. Este modo de trabajar facilita el desarrollo de competencias como el trabajo en equipo, la capacidad de organización, planificación y gestión del

propio tiempo, la capacidad de gestión de la información, la capacidad de análisis y síntesis o el razonamiento crítico.

En general, los comentarios de los estudiantes son positivos. Creemos que este modelo ha permitido mantener un porcentaje de matriculados significativo en un entorno muy competitivo. Por ejemplo, en el caso de Ingeniería de Protocolos de Comunicaciones, la asignatura tiene que competir con otras asignaturas optativas de especialidad como arquitecturas avanzadas de ordenadores o redes locales, metropolitanas y por satélite. Hemos logrado incrementar el porcentaje de matriculados del 7% en el curso 1998/99 hasta el 15% actual, con una leve tendencia ascendente. Aunque esta materia no es tan popular como las otras dos, estamos convencidos de que podemos mantener esa tasa de matriculados en gran medida por el modelo docente elegido.

En el caso de Arquitectura de Ordenadores II, se trata de una asignatura obligatoria de tercer curso. Los estudiantes ya han adquirido unos conocimientos y competencias fundamentales sobre el tema en la asignatura de Arquitectura de Ordenadores I. Así, al tratarse de una asignatura de continuación con gran contenido práctico tiene un perfil comparativamente más especializado que el resto de las asignaturas obligatorias comunes. Esto tiene como consecuencia que la motivación inicial de los estudiantes que van a seguir la especialidad de Telemática o Electrónica sea mucho mayor que la de los estudiantes que se van a especializar en Tratamiento de Señal y Comunicaciones. Este modelo docente nos ha permitido compensar las competencias técnicas en arquitecturas de ordenadores con las competencias transversales citadas anteriormente, lo cual es un aliciente para los estudiantes menos interesados en los contenidos técnicos.

Bibliografía

- [1] R. Bekkers, J. Smits. *Mobile Telecommunications : Standards, Regulation and Applications*. Artech House Mobile Communications Library. 1998
- [2] F.C. Berry. "An Undergraduate Parallel Processing Laboratory", *IEEE Transactions on Education*, vol. 38 (4) pp. 306-311, 1995
- [3] P. de Bijl, M. Peitz. *Regulation and Entry into Telecommunications Markets*. Cambridge University Press, 2002.
- [4] A. Clements. *Microprocessor Systems Design: 68000 Family Hardware, Software, and Interfacing*. Thomson-Engineering, 1997
- [5] M. J. Fernández Iglesias, J. González, J. M. Pousada. "An undergraduate low-level computer communications laboratory oriented towards Industry". *International Journal of Electrical Engineering Education*, vol. 37(2) pp.146-156, 2000
- [6] M. J. Fernández Iglesias, M. Llamas. "An Undergraduate Course on Protocol Engineering – How to Teach Formal Methods without Scaring Students. En C.D. Dean y R.T. Boute (eds.) TFM 2004, *Lecture Notes in Computer Science* 3294, pp. 153-165, 2004.
- [7] G. Holzmann. *The SPIN Model Checker : Primer and Reference Manual*. Addison-Wesley Professional, 2003
- [8] D. Thornburg. *The New Basics: Education and the Future of Work in the Telematic Age*. Association for Supervision & Curriculum Development, 2002.