

Una propuesta de adaptación al EEES para la Arquitectura de Computadores

José M. García y Manuel E. Acacio

Departamento de Ingeniería y Tecnología de Computadores

Universidad de Murcia

30080 Murcia (España)

e-mail: {jmgarcia,meacacio}@ditec.um.es

Resumen

Con la próxima entrada de los nuevos planes de estudio motivados por el Espacio Europeo de Educación Superior, estamos viviendo unos momentos de cambios profundos en la Universidad. En esta ocasión no se trata tan sólo de modificar más o menos los contenidos docentes que se imparten en cada una de las materias, sino de implantar una nueva metodología docente.

En este artículo presentamos las actividades que hemos estado realizando en estos últimos cuatro años dirigidas a orientar la asignatura de Arquitectura de Computadores en esta nueva metodología, cuyo enfoque principal está centrado en el aprendizaje del alumno. En general, calificaríamos nuestra experiencia de muy satisfactoria, dado que hemos podido constatar que los alumnos mejoran sus conocimientos sobre la materia, aumentando también su rendimiento académico e interés por los conceptos analizados. La opinión de los alumnos también es favorable, obteniendo una valoración positiva por el 87% de los mismos.

1. Introducción y motivación

La enseñanza universitaria cubre un amplio abanico de materias y de formas de enseñar. En cualquiera de sus formas, el profesor universitario trata de transmitir unos conocimientos a los alumnos que tiene delante, procurando que dichos alumnos asimilen, comprendan e incluso lleguen a hacer suyos (*interioricen*) los contenidos transmitidos. Para conseguir es-

te objetivo, el profesor cuenta con una serie de recursos didácticos que ayudan a que el estudiante se interese por la materia, le dedique el tiempo necesario a su comprensión y aprendizaje, e incluso llegue a *disfrutar* estudiando dichos conocimientos.

Hasta ahora, la forma tradicional de enseñar estaba centrada sobre todo en las enseñanzas impartidas por el profesor, y se manifestaba en la importancia que se le atribuía a la clase magistral. Aunque existían otras actividades complementarias como las prácticas, especialmente en las carreras científicas y técnicas, la labor del alumno era meramente pasiva y se dedicaba a estudiar una serie de nuevos conocimientos y a manifestar, por medio de un examen, el grado de asimilación de dichos conocimientos. Por contra, el nuevo Espacio Europeo de Educación Superior, siguiendo un modelo de aprendizaje más anglosajón, pone el acento sobre todo en el alumno y en su proceso de aprendizaje.

El alumno es ahora el verdadero protagonista de la educación universitaria. La labor del profesor pasa a tener más un carácter de tutoría, de guiado. Es el profesor, con sus abundantes conocimientos de la asignatura y su experiencia docente, el que debe orientar a cada alumno para que consiga el nivel de conocimientos exigido en dicha materia, por medio de la realización de diversas actividades. Es decir, se busca una atención personalizada al alumno. Aunque muchos alumnos recorran caminos semejantes, en principio —o en teoría— cada uno de ellos debe tener su propio desarrollo curricular.

Esta nueva concepción del método docente es la que nos ha motivado a poner en práctica, y a experimentar, con unas actividades complementarias que permiten a los alumnos desarrollar su trabajo de forma autónoma, y a convertirse, en la medida de lo posible, en los verdaderos protagonistas de su formación académica. Para ello, hemos acudido a las universidades de los países anglosajones para ver qué metodología desarrollan. A partir de ahí hemos procurado adaptar esta metodología a nuestra realidad, teniendo sobre todo en mente la convergencia europea de los próximos años.

Al ser la Informática una disciplina reciente y en continua evolución, tanto los conocimientos impartidos como su forma de transmisión están en un cambio continuo. En el caso de la Arquitectura de Computadores quizás la gran evolución (o más bien revolución) vino de la mano de Hennessy y Patterson, dos conocidísimos profesores estadounidenses que en el año 1990 publicaron un libro [5] que revolucionó la docencia (y la investigación) en esta materia. Con su famoso “enfoque cuantitativo” pusieron de manifiesto la importancia y creciente necesidad de medir y evaluar cualquier nueva idea en Arquitectura de Computadores, por medio de una metodología correcta y que pudiera ser reproducible por otros. A partir de entonces, prácticamente cualquier libro importante en Arquitectura de Computadores está desarrollado bajo este enfoque (por ejemplo, ver [8] o [2]).

Como ayuda y complemento eficaz en la docencia de esta materia, dichos profesores empezaron a pedir a sus alumnos la realización de un mini-proyecto de investigación que les ayudara a fijar ideas y a profundizar en los conocimientos adquiridos. Asimismo, empezaron a mandar una serie de ejercicios (problemas) para que los alumnos los resolvieran en su tiempo libre, lógicamente antes de la próxima clase. Finalmente, y debido a la rápida obsolescencia de los libros utilizados, aconsejaban a sus alumnos la lectura de artículos de investigación de las mejores revistas y congresos, como medio de adquirir los últimos conocimientos que se desarrollaban en este campo. Esta metodología de trabajo pronto hizo fortuna y hoy

en día un buen número de universidades ya la han adoptado. En este artículo pretendemos explicar las *bondades* que nosotros hemos encontrado a la incorporación de estos recursos a la enseñanza de la Arquitectura de Computadores, así como mostrar la experiencia que hemos obtenido en su aplicación en estos últimos años.

Tras esta introducción, el resto del artículo se estructura de la siguiente manera. En la siguiente sección ofrecemos un breve apunte de los aspectos más relevantes del Espacio Europeo de Educación Superior. En la sección 3 presentamos cada una de las actividades complementarias que hemos añadido a la asignatura, mostrando el enfoque que les hemos dado y las características más destacadas que presentan. A continuación, en la sección 4 mostramos cómo ha sido la experiencia práctica que hemos tenido durante estos años, ofreciendo en la sección siguiente los resultados obtenidos y la opinión de los alumnos. Finalmente, el artículo termina con una sección de conclusiones acerca de todo lo expuesto.

2. El Espacio Europeo de Educación Superior

El Espacio Europeo de Educación Superior supondrá una importante modificación del actual marco curricular, ya que habrá que cambiar gran parte del sistema universitario español para armonizarlo con el del resto de países de la Unión Europea.

La construcción del Espacio Europeo de Educación Superior es un proceso que se inicia con la Declaración de la Sorbona y se consolida y amplía con la Declaración de Bolonia, en las que los ministros europeos de educación instaban a los estados miembros de la Unión Europea a desarrollar e implantar en sus países una serie de actuaciones, conducentes a adoptar un sistema de titulaciones comprensible y comparable entre los diversos países, basado en una estructuración en dos niveles principales, el de grado y el de postgrado (tipo máster y/o doctorado). Para fomentar la comparabilidad de los estudios y promover la movilidad de los estudiantes y titulados se propugna es-

tablecer un sistema común de créditos.

El sistema de créditos europeos, conocido como ECTS (*European Credits Transfer System*), nace y se desarrolla con los programas de movilidad de estudiantes para dar una respuesta a la necesidad de encontrar un sistema de equivalencias y de reconocimiento de los estudios cursados en otros países. La generalización de esta unidad de medida académica para todos los estudiantes es un objetivo fundamental para la creación del Espacio Europeo de Educación Superior, de forma que el trabajo desarrollado por un estudiante en cualquiera de las universidades de los estados miembros sea fácilmente reconocible en cuanto a nivel, calidad y relevancia.

Su introducción en el sistema universitario español implica importantes diferencias con respecto al crédito vigente. Conviene subrayar, al respecto, que el crédito europeo no es una medida de duración temporal de las clases impartidas por el profesor, sino una unidad de valoración del volumen de trabajo total del alumno, expresado en horas, que incluye tanto las clases (teóricas o prácticas) como el esfuerzo dedicado al estudio y a la preparación y realización de exámenes. En resumen, esta nueva unidad de medida comporta un nuevo modelo educativo basado en el trabajo del estudiante y no en las horas de clase, o dicho de otro modo, centrado en el aprendizaje de los estudiantes, y no en la docencia de los profesores.

3. Nuevos recursos docentes en Arquitectura de Computadores

De cara a propiciar un cambio en el enfoque docente, desde hace unos años hemos empezado a introducir en la asignatura de Arquitectura de Computadores toda una serie de actividades complementarias que permitan un trabajo más personal y autónomo por parte de los alumnos. En el contexto de este artículo, entendemos por Arquitectura de Computadores los conocimientos actualmente impartidos a los alumnos de la titulación de Ingeniero en Informática en alguno de los cursos de 2º ciclo, con un carga de al menos 9 créditos. Estos estudios comprenden una serie de tópicos

avanzados en Arquitectura de Computadores en dos grandes líneas: el diseño de arquitecturas que explotan el paralelismo a nivel de instrucción (ILP), como pueden ser los procesadores superescalares, VLIW o vectoriales, y el diseño de arquitecturas que explotan el paralelismo gracias a tener varios procesadores (arquitecturas multiprocesador).

En esta sección vamos a explicar los nuevos recursos docentes que hemos empleado en la asignatura: el proyecto de investigación, la lectura de artículos científicos, los boletines de ejercicios y la lista de correo de la asignatura.

3.1. El proyecto de investigación

Empezaremos nuestra propuesta por detallar *qué es* un proyecto de investigación. Entendemos por proyecto de investigación un trabajo realizado por los alumnos en el que tratan de demostrar los conocimientos adquiridos en la asignatura, por medio de *razonar e investigar* sobre un aspecto concreto de la misma, teniendo que relacionar diversos conocimientos que han ido asimilando a lo largo de la carrera, y debiendo redactar un documento científico en el que muestren la investigación realizada y los *hallazgos* derivados de dicha investigación.

A la hora de proponer los posibles trabajos a realizar, o de permitir que el alumno elija un cierto trabajo de su interés particular, trataremos de que los trabajos tengan una alta componente de investigación de tipo experimental, y no únicamente bibliográfica. Al final de la fase experimental, los alumnos redactan un documento explicando qué es lo que han desarrollado, qué metodología han seguido para ello y qué resultados han alcanzado. Dicho documento tiene que tener la estructura de un artículo científico, por lo que debe incluir una introducción y motivación a dicho trabajo, un repaso de qué han hecho otros autores en casos parecidos, para finalizar con unas conclusiones y, si es posible, con unas líneas de trabajo futuro. Para facilitarles dicha tarea, les proporcionamos un documento [3] que pueden usar como guía en dicho proceso.

Dentro de la asignatura, el proyecto de investigación forma parte de los créditos prácticos dedicados a ésta. En estos años, hemos

dedicado la mitad de dichos créditos a la realización de dos prácticas sencillas correspondientes a cada uno de los bloques en que dividimos la asignatura. El resto de los créditos los reservamos para que los alumnos realicen el trabajo de investigación que hayan elegido.

3.2. Lecturas recomendadas

Como complemento a la formación impartida en el aula, hemos visto conveniente que el alumno tome soltura en acostumbrarse a leer artículos de investigación. En función de los contenidos que se imparten en la asignatura, estos artículos los hemos agrupado en tres bloques: el primero se refiere a aquellos trabajos relacionados con la mejora de prestaciones en los procesadores por medio de explotar adecuadamente el paralelismo a nivel de instrucción, el segundo bloque trata de los diferentes tipos de arquitecturas multiprocesador y finalmente, el tercer bloque se dedica al problema de la consistencia de memoria y la coherencia de las cachés en los sistemas multiprocesador.

Con las lecturas de investigación conseguimos un efecto colateral, y es que el alumno se acostumbre a utilizar la bibliografía recomendada por el profesor para cada uno de los temas que se imparten, procurando vencer una natural *alergia* que parece que tienen frecuentemente los alumnos a los libros de consulta, en especial cuando están escritos en inglés.

La selección de los artículos la hemos realizado teniendo en cuenta el impacto que han tenido, el lugar de su publicación (habitualmente en congresos tipo ISCA o HPCA o revistas de IEEE o ACM), la originalidad de la idea mostrada y la legibilidad por parte de los alumnos.

Esta actividad docente cada vez está ganando más adeptos, y ya empieza a haber libros de consulta que la recomiendan, como es el caso, por ejemplo de [8] o de [7].

3.3. Boletines de ejercicios y lista de correo

Una de las razones que, a nuestro juicio, hace que los alumnos obtengan bajas calificaciones y un bajo rendimiento académico es la falta

de hábitos de trabajo. Para solucionar esto, y ayudar a que la asignatura la vayan estudiando poco a poco, proponemos la realización de unos boletines de ejercicios (problemas) fuera del horario de clases.

Además de dedicar parte de las horas de teoría a explicar cómo se resuelven los problemas de la asignatura, ofrecemos a los alumnos la posibilidad de realizar 3 boletines de “*Ejercicios para casa*”. Dichos boletines consistirán en 5 ó 6 problemas acerca de la materia correspondiente. Posteriormente a la fecha de entrega, publicamos su respuesta y comentamos en clase las líneas generales de resolución de los mismos. El primero de estos boletines lo entregamos en las primeras semanas de curso, y sirve para *refrescar* los conocimientos de años anteriores, mientras que los otros dos están más relacionados con cada uno de los bloques en que hemos dividido la asignatura.

De forma adicional, estamos usando una lista de correo electrónico para el ágil manejo de la asignatura. Aprovechando que en el servidor del Departamento está instalado el software **Mailman** (de libre distribución), tenemos activada una lista de correo para todos los alumnos de la asignatura¹. Lo primero que se le pide a los alumnos es que se den de alta en dicha lista con el correo electrónico que suelen utilizar habitualmente². Una vez dados de alta, cada uno de ellos recibe todos los mensajes que cualquier otro envía a dicha lista. La lista está administrada por los profesores de la asignatura (aunque de momento no moderada), y los propios profesores forman parte de dicha lista (detalle este último que se les advierte a los alumnos).

Hemos encontrado diversos beneficios a la utilización de una lista de correo para los alumnos de la asignatura. El primero y más importante es la consulta de las diversas dudas que les surgen en la realización de los problemas, prácticas, estudiando la asignatura, etc. Dichas dudas, puestas en la lista, pueden ser contestadas por otros compañeros (cosa que de

¹La dirección de la lista es aic@ditec.um.es

²Aunque la Universidad les proporciona una dirección de correo a todos los alumnos, en bastantes ocasiones ellos utilizan otra cuenta de correo.

hecho sucede con frecuencia) o bien por el profesor, caso de una pregunta más difícil o bien de una contestación previa errónea. Además, y de cara a facilitar las tutorías por *email*, hemos encontrado que muchas veces las consultas realizadas al profesor eran muy interesantes y la respuesta, además de enviársela al alumno que la formuló, ha sido re- enviada también a la lista, para que de esta forma todos los alumnos conozcan dicha respuesta. Por último, hemos encontrado que la lista de correo es un medio muy útil para avisar a todos los alumnos de cualquier incidencia que pueda ocurrir: cambio de una clase, retraso en la entrega de unas prácticas, *publicar* en la página Web (y dejar en la fotocopidora) las transparencias de un tema determinado, etc.

4. Experiencia práctica

En esta sección presentamos algunos detalles concretos de cómo hemos llevado a la práctica las actividades complementarias descritas, dentro de la asignatura de Arquitectura de Computadores de 4º curso de la Ingeniería Informática en la Universidad de Murcia.

En primer lugar, decir que la idea que hemos puesto en práctica es que todas estas actividades complementarias no tengan que ser obligatorias, aunque se les dé un peso importante en la nota final de la asignatura, como después comentaremos. Eso quiere decir que un alumno puede aprobar (e incluso obtener buena calificación) sin necesidad de realizar alguna de las actividades propuestas. De esta forma, pensamos que los alumnos gozan de una mayor libertad y se les motiva más para que se lancen a la *aventura*.

4.1. El proyecto de investigación

Empezamos por unos comentarios acerca del proyecto de investigación. En cuanto al número de personas que tienen que realizar juntas el trabajo, recomendamos los grupos de 2 alumnos, pues de esa forma obtienen el beneficio adicional de trabajar de forma conjunta en la resolución de una tarea compleja. Opcionalmente, también se puede realizar el trabajo de

forma individual pero, salvo casos muy excepcionales, no admitimos grupos de tres o más personas. Como *esperamos* que ambos componentes del grupo trabajen de forma equitativa, la nota obtenida en el trabajo será la misma para ambos.

Para la elección del trabajo de investigación, proponemos una serie de trabajos relacionados con cada uno de los 2 bloques que componen la asignatura. Esta propuesta la realizamos a título orientativo, pudiendo el alumno, de acuerdo con el profesor, elegir otro trabajo por el que tenga un mayor interés. Dentro de cada bloque, los trabajos se dividen entre complejidad normal y complejidad superior, de cara a orientar a los alumnos acerca de la dificultad de cada trabajo, no teniendo, en principio, ninguna relación en cuanto a la nota a obtener en él. Para lo que sí sirve dicha distinción es de cara a la posible continuidad del trabajo en un proyecto fin de carrera. Este es el caso de los trabajos de complejidad mayor, los cuales habitualmente pueden abrir las puertas a desarrollos futuros.

Con respecto al resto de detalles del proyecto de investigación, remitimos al lector interesado a la página Web³ de la asignatura, o a la referencia dada en [4].

4.2. Las lecturas y los boletines de ejercicios

Para comprobar que los alumnos han leído los artículos sugeridos, deben entregar un resumen de dichas lecturas con una extensión máxima de un folio (por las dos caras) y manuscrito. La organización aconsejada para el resumen es la siguiente: mostrar los objetivos del autor del artículo, a continuación comentar los principales desarrollos que se exponen en el mismo, y acabar dando una opinión personal de los logros obtenidos por el autor y su importancia y relevancia en el campo de la Arquitectura de Computadores, así como cualquier otra opinión personal que se considere oportuna.

³<http://www.ditec.um.es/arquitectura>. El material utilizado está disponible a cualquier persona que lo solicite por email.

Lo que nos interesa es que el alumno lea dicho artículo de investigación y lo entienda. No se trata de hacer *simplemente* un resumen del artículo, sino de ganar en familiaridad con la forma de presentar los contenidos científicos, *deslumbrarse* por los problemas planteados y sorprenderse con las soluciones aportadas por los diversos autores. Lo que más se valora de la redacción del trabajo es el enfoque que se le da al mismo y la opinión personal que le dan los alumnos a lo leído. Se sobreentiende, al ser artículos de investigación avanzada, que puede haber detalles poco comprensibles, lo que no impide el correcto aprovechamiento de las lecturas realizadas.

Con respecto a los boletines de ejercicios, se prepara una colección de problemas seleccionados, intentando que cubran los diferentes aspectos tratados. Muchos de los problemas los hemos escogido de los propios exámenes realizados en la asignatura en años anteriores, permitiendo así a los alumnos tener una idea de lo que se les va a exigir cuando se enfrenten a su propia prueba de evaluación.

Los alumnos tienen aproximadamente dos semanas para la realización de estos boletines, teniendo que entregar en plazo fijo la resolución manuscrita de los ejercicios propuestos. Una vez pasada dicha fecha, se les proporciona a los alumnos la solución de los problemas. Al cabo de un tiempo para que hayan podido revisar las soluciones y comprobar sus resultados, se resuelven en clase prestando especial atención a aquellos puntos en los que han tenido una mayor dificultad o no ha quedado suficientemente clara la respuesta que les hemos facilitado.

Hemos comprobado que también resulta interesante para los alumnos el disponer de una colección de problemas adicionales resueltos (incluyendo, de nuevo, exámenes de otros años). Por ello, facilitamos dicho material en la página Web de la asignatura (y en la fotocopidora).

4.3. El proceso de evaluación

Finalmente, nos resta comentar algo acerca del proceso de evaluación de todas estas actividades.

Para la evaluación del trabajo de investigación, nuestra propuesta es realizarla a partir del trabajo manuscrito que entregan los alumnos. En el momento de presentar a los alumnos el trabajo de investigación, se detallan los criterios que vamos a seguir para su evaluación. Una explicación más detallada se puede encontrar en [4].

Para la evaluación de los boletines de ejercicios, proponemos la auto-evaluación por parte de los alumnos. Al finalizar el comentario de clase a las respuestas a los problemas, los alumnos tienen que corregirse dichos ejercicios y enviar al profesor (habitualmente por *email*) la nota obtenida. Para evitar abusos, el profesor aleatoriamente corrige un 20 % de los ejercicios entregados. En caso de que la diferencia de nota sea significativa, el alumno es llamado al despacho del profesor para que explique el motivo de dicha diferencia.

Vemos dos grandes ventajas a proceder de este modo: por una parte, no sobrecargar la labor del profesor con excesivas correcciones de actividades de los alumnos; por otra parte, obligamos a que el alumno *vuelva* sobre los ejercicios entregados, los observe con espíritu crítico, descubra en qué se ha equivocado y se valore. De esta forma, los alumnos aprenden de sus errores y progresan mejor en la asignatura. Con respecto a la *bondadosa* calificación que pueden realizar los alumnos sobre ellos mismos, hemos comprobado que su influencia en la nota final de la asignatura es escasa o prácticamente nula.

Las lecturas de artículos es el apartado sobre el que la corrección es más benigna por nuestra parte, ya que somos conscientes de que los alumnos no están acostumbrados a leer un artículo, hacerse cargo de su contenido y poder ofrecer un resumen con comentario personal incluido. Por ello, el criterio que seguimos es que prácticamente por entregar cada lectura ya está aprobada con una nota de 7. En función de la redacción y el contenido, esta nota sube en numerosas ocasiones a 8, 9 ó 10. También, aunque los casos son más raros, los alumnos podrían obtener una nota más baja cuando se observe una auténtica desgana en la realización de dicha lectura.

La otra cuestión relacionada con el proceso de evaluación es determinar cuánto influyen cada una de las actividades descritas en la nota global obtenida por el alumno en la asignatura. Desde el principio teníamos claro que queríamos ofrecer a los alumnos una asignatura mucho más participativa, y con un reflejo claro en la nota final que obtienen los alumnos. Al mismo tiempo, queríamos que el alumno realizara estas actividades de forma voluntaria, por lo que debíamos permitir que cualquier alumno pudiera aprobar al realizar únicamente las actividades tradicionales (exámenes y prácticas).

Contando con todo lo dicho, proponemos calcular la nota final de la asignatura de acuerdo a las siguientes proporciones: 35 % Exámenes de la asignatura (teórico-prácticos), 15 % Prácticas, 25 % Trabajo de investigación, 10 % Boletines de ejercicios, 10 % Lecturas y 5 % Participación en clase y tutorías.

5. Resultados obtenidos

Desde nuestro punto de vista, la experiencia en estos años ha sido muy positiva. Hemos notado que los alumnos responden adecuadamente a la idea de tener que trabajar por su cuenta y organizarse el trabajo por ellos mismos. Además, y esto es lógicamente lo más importante, hemos comprobado cómo los alumnos mejoran su comprensión de los conceptos propios de la asignatura.

Por otra parte, los alumnos obtienen unos beneficios adicionales con la realización de estas actividades complementarias. En primer lugar, el alumno mejora sensiblemente su comprensión de los tópicos impartidos en la asignatura, desarrollando su intuición, entendiendo mejor las causas que han desencadenado los últimos avances en Arquitectura de Computadores y las soluciones que se han aportado hasta el momento. Asimismo, el alumno se acostumbra a leer y a redactar un artículo científico, permitiéndole esta tarea mejorar su expresión escrita y ayudándole a reflexionar sobre los conocimientos adquiridos.

Pero no debemos dar únicamente nuestra opinión. Al finalizar la asignatura, tenemos por costumbre pasar a los alumnos una en-

cuesta anónima para recabar su opinión sobre los diversos aspectos de la asignatura.

A partir de los resultados obtenidos en estos últimos años en la encuesta, hemos extraído las siguientes conclusiones:

- Las actividades complementarias están muy bien valoradas por los alumnos: El trabajo de investigación está valorado con una puntuación de 4 ó 5 (sobre 5) por el 81 % de los alumnos que realizan la asignatura, los boletines de ejercicios por el 85 %, llegando las lecturas a gozar del favor del 93 % de los alumnos.
- El 96 % de los alumnos opina que el trabajo de investigación le ha servido para reforzar los conocimientos adquiridos en la asignatura.
- Con respecto al grado de dificultad para realizar todas estas actividades, hay una mayor diversidad de opiniones. Aunque sólo el 25 % encuentra excesivo dicho grado de dificultad, es cierto que para la mayoría (82 %) las actividades complementarias suponen un esfuerzo considerable.
- Finalmente, comentar que a la gran mayoría de los alumnos (87 %) les gusta este nuevo enfoque de la asignatura, pues les permite organizarse con más libertad y trabajar de forma continuada a lo largo de todo el cuatrimestre.

En general, los alumnos valoran positivamente la asignatura y la labor realizada por los profesores de la misma. En general, es bastante frecuente que los alumnos reconozcan que, a priori, no era ésta una de las asignaturas por la que mostrarán sus preferencias, pues habitualmente están más inclinados por otras materias en las que perciben una mayor "aplicabilidad" de lo que aprenden. Sin embargo, según ellos mismos reconocen, al final del curso su opinión ha cambiado, pasando de ser la Arquitectura de Computadores una materia "puramente" teórica, a descubrir el enfoque *cuantitativo* que tiene y la utilidad que más adelante tendrá en el ejercicio de su profesión.

Quizá un último dato que refleja este cambio es el número de alumnos que realizan el proyecto fin de carrera en el área de Arquitectura, y que ha pasado de estar en torno al 8%, a sobrepasar el 20% de los alumnos.

6. Conclusiones

En este artículo hemos presentado una propuesta sobre cómo incorporar unas actividades adicionales a la docencia de los contenidos de Arquitectura de Computadores que se imparten en el segundo ciclo de la titulación de Ingeniero en Informática. Dichas actividades están en consonancia con la idea del Espacio Europeo de Educación Superior, en donde se le otorga un mayor énfasis al trabajo personal y autónomo del alumno. A pesar de que nuestra experiencia se centra en esta materia, nos parece que la mayoría de las ideas mostradas en este artículo se pueden trasladar a otras muchas materias del segundo ciclo.

La incorporación de éstas u otras actividades dentro de la docencia de Arquitectura de Computadores es una práctica común en las universidades americanas. En este artículo hemos mostrado cómo hemos llevado a la práctica dicha metodología docente, la experiencia que nos hemos encontrado en estos años y las diversas características que hemos aplicado para conseguir este fin.

Quizá la conclusión obtenida más importante ha sido comprobar la mejora de los alumnos en sus conocimientos en esta materia. El tener que realizar estas actividades complementarias obliga a los alumnos a tener que *pensar* y *razonar* acerca de todos los conceptos explicados en ésta y otras asignaturas de la carrera. Además, el enfrentarse a redactar un documento acerca del trabajo realizado, y a expresar por escrito sus ideas, les facilita que muchas veces descubran que hay conceptos que no tenían aún suficientemente claros y que necesitaban de un estudio y/o análisis adicional. Asimismo, la oportunidad de constatar en la práctica aquello que se ha estudiado en las clases teó-

ricas aumenta el interés de los alumnos por la Arquitectura de Computadores.

Referencias

- [1] Todd Austin, E. Larson, y D. Ernst. SimpleScalar: An infrastructure for computer system modeling. *IEEE Computer*, 35(2):59–67, Febrero 2002.
- [2] José Duato, S. Yalamanchili, y L. Ni. *Interconnection Networks: An Engineering Approach*. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, USA, revised edition, 2002.
- [3] José M. García. Guía para la preparación de informes técnicos y artículos de investigación. Technical Report DITEC-UM-2003-2, Universidad de Murcia, Marzo 2003.
- [4] José M. García y Manuel E. Acacio. El Proyecto de Investigación: Un complemento eficaz en la docencia de Arquitectura de Computadores. *X Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática*, Thomson Paraninfo, pp. 135-142, 2004.
- [5] John L. Hennessy y David A. Patterson. *Computer Architecture. A Quantitative Approach*. Morgan Kauffmann, 1ª edición, 1990.
- [6] Christopher J. Hughes, Vijay S. Pai, Parthasarathy Ranganathan, y Sarita V. Adve. Rsim: Simulating shared-memory multiprocessors with ilp processors. *IEEE Computer*, 35(2):40–49, Febrero 2002.
- [7] Bruce Shriver y Bennett Smith. *The Anatomy of a High-performance Microprocessor: A Systems Perspective*. IEEE CS Press, 1998.
- [8] William Stallings. *Computer Organization and Architecture: Designing for Performance*. Prentice Hall, 6ª edición, 2003.