

# El proyecto de investigación: Un complemento eficaz en la docencia de 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

Los estudios de Informática son aún relativamente jóvenes y es necesario, por tanto, continuar mejorando la metodología docente que se aplica para facilitar la adquisición de los conocimientos asociados con una asignatura por parte de los estudiantes y, como consecuencia, aumentar su rendimiento académico.

En este artículo presentamos la incorporación del proyecto de investigación a la metodología docente de la asignatura de Arquitectura de Computadores. Presentamos los diversos detalles prácticos que hemos aplicado para poder incluir este trabajo en la asignatura. Además, mostramos las opiniones que hemos recogido de los alumnos durante este tiempo.

En general, calificaríamos nuestra experiencia como muy satisfactoria, dado que hemos podido constatar como los alumnos mejoran sus conocimientos sobre la materia, aumentando también su rendimiento académico e interés por los conceptos analizados. La opinión de los alumnos es en este mismo sentido, obteniendo una valoración positiva por el 84% de los alumnos.

## 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 (*interiorizar*)

los contenidos transmitidos. Para conseguir este 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* durante el proceso de aprendizaje de dichos conocimientos.

Hay disciplinas universitarias donde lo “único” que se espera de los alumnos es una fuerte dedicación de tiempo al estudio teórico de las diversas materias que componen aquella disciplina, como puede ser el caso de los estudios de Historia, Derecho, Filosofía, Arte, etc. En otros casos, es necesario un conocimiento práctico o aplicado de lo estudiado de forma teórica, pues lo que se espera de dichas personas cuando ejerzan su profesión será precisamente que apliquen de forma práctica los conocimientos teóricos estudiados. Ejemplos de esto los encontramos en los estudios de Químicas, Biológicas, Pedagogía, Económicas, etc, y de forma más clara en los estudios de las Ciencias de la Salud, como Medicina o Veterinaria.

Las carreras denominadas “técnicas” aparecen con posterioridad a la revolución industrial, a finales del siglo XIX, con un marcado componente práctico, enfocado a la resolución de los problemas que planteaba la incorporación de los diversos procesos técnicos que se iban desarrollando a las empresas y a la vida cotidiana de las personas. Inicialmente, estos estudios no tenían rango universitario, y se desarrollaban en Escuelas Especiales, dedicadas a formar personas cualificadas que conocían cómo resolver cualquier problema que

surgiera en relación con las nuevas máquinas. Conforme el progreso técnico y la revolución industrial fueron llegando a más sectores de la sociedad, hacían falta más personas que tuvieran conocimientos para manejar las nuevas máquinas y resolver los problemas que pudieran aparecer, lo que propició que mucha gente se inclinara a realizar estudios de este tipo.

Este auge de los estudios técnicos llevó consigo una mejor estructuración de los conocimientos que se impartían en ellos, añadiendo todo un *corpus* teórico a las enseñanzas prácticas que tradicionalmente se impartían, y facilitando que, lo que empezó como unos estudios especiales, pasaran a constituir estudios universitarios. Dichos estudios universitarios de carácter técnico están agrupados bajo la denominación común de estudios de Ingeniería, abarcando hoy en día una amplia gama de conocimientos. Así, actualmente tenemos entre otros los estudios de Ingeniería Industrial, Ingeniería de Minas, Ingeniería Agronómica, Ingeniería de Telecomunicaciones y, por supuesto, los estudios de Ingeniería Informática. Un dato nos puede dar idea de la bisonñez de *todos* los estudios de Ingeniería. La asociación americana de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), una de las asociaciones de ingenieros con más prestigio a nivel mundial y que actualmente engloba a los ingenieros en Informática, comenzó sus días en 1963 y tiene poco más de cuarenta años de vida (aunque desde 1884 ya existía la asociación AIEE que junto a la IRE dieron lugar a la IEEE).

El caso de la Ingeniería Informática en España es curioso, porque cuando dichos estudios empezaron, tenían un carácter más científico (de alguna forma, más relacionados con las Matemáticas), por lo que inicialmente tuvieron la denominación de Licenciatura en Informática. El creciente *rol* social que a partir de mediados del siglo XX en España (y en general en casi todo el mundo) han tenido los ingenieros, unido a un enfoque mucho más práctico de las materias impartidas, hizo que, hace algo menos de 10 años, se cambiara su denominación por la de Ingeniero en Informática<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Y, de igual forma, los estudios de grado medio cambiaron la denominación de Diplomatura por la de

Los conocimientos impartidos en el materia de Arquitectura de Computadores también han evolucionado en este medio siglo escaso. Quizás la gran revolución vino de la mano de Hennessy y Patterson, dos importantísimos profesores estadounidenses que en el año 1990 publicaron un libro [4] 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 el enfoque de evaluar las prestaciones (por ejemplo, ver [6] o [2]).

Como ayuda y complemento eficaz para la correcta comprensión de los diversos tópicos en Arquitectura, dichos profesores empezaron la costumbre de 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. Como veremos en la sección 5, hoy en día un buen número de universidades han adoptado esta práctica en la enseñanza de la Arquitectura de Computadores. En este artículo pretendemos explicar las *bondades* que nosotros encontramos a la incorporación de este recurso 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 el desarrollo de lo que nosotros consideramos que es un proyecto de investigación a realizar en una asignatura, presentando el enfoque que le hemos dado y las características más destacadas que presenta. A continuación, en la sección 3 mostramos la experiencia práctica que hemos desarrollado durante estos años en los que hemos incorporado dicho proyecto como un factor más de la docencia de la asignatura, ofreciendo en la sección siguiente algunos resultados que a juicio de los alumnos se han producido en Ingeniería Técnica.

tos años. La sección 5 ofrece un rápido repaso a distintas universidades españolas y extranjeras, mostrando cuales de ellas han incorporado la realización de un proyecto de investigación dentro de la docencia de esta materia y qué características poseen. Finalmente, el artículo termina con una sección de conclusiones acerca de todo lo expuesto.

## 2. El proyecto de investigación

En el contexto de este artículo, entendemos por Arquitectura de Computadores los conocimientos impartidos a los alumnos de Ingeniería Informática en alguno de los cursos de 2º ciclo, con un carga de al menos 9 créditos, según establece el R.D. 1459/1990<sup>2</sup> que regula el conjunto de materias troncales de obligatoria inclusión en los planes de estudios de Ingeniero en Informática. 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).

Para motivar y ayudar al estudio del alumno a lo largo de toda la asignatura, junto a las clases de teoría y las prácticas, se pueden desarrollar otra serie de actividades docentes que sirvan al alumno para reforzar los conocimientos adquiridos. Así, podemos ver propuestas que van desde la realización de una serie de boletines de ejercicios en casa hasta una serie de lecturas de artículos con un interés relevante en la materia, o incluso también la elaboración de un trabajo de investigación en algún tópico actual relacionado con la asignatura.

En esta artículo nos centramos en este último aspecto explicando nuestra idea acerca de *qué es* un proyecto de investigación, *cómo* deben los alumnos realizar dicho trabajo de investigación, y *qué utilidad* tiene para ellos, todo esto en el marco de la asignatura de Arquitectura de Computadores.

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. Nos parece que el proceso de experimentación es altamente enriquecedor para los alumnos, pues les permite ir desarrollando su intuición para, a posteriori, comprobar la veracidad de las hipótesis planteadas. Es bastante frecuente que en los primeros experimentos *fallen* en sus predicciones, pero pensamos que el poder aprender de los propios errores es una de las mejores fuentes de progreso. Lógicamente, la mayoría de estos trabajos se van a realizar sobre algún simulador que permita variar ciertos aspectos de la arquitectura de la máquina y, por tanto, permita a los alumnos, de forma sencilla, realizar diversos experimentos e investigar un tema concreto.

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 otros casos parecidos, y finalizar con unas conclusiones y, si es posible, con unas líneas de trabajo futuro.

Dicho documento es la parte “visible” del trabajo realizado por los alumnos, y en principio, la única interacción entre estos y los profesores, por la que nota obtenida es consecuencia directa de cómo se haya presentado el trabajo. Al ser ésta una de las primeras veces que

<sup>2</sup>Parcialmente modificado por el R.D. 1267/1994.

los alumnos se enfrentan a la redacción de un documento de este estilo, les supone un esfuerzo considerable ordenar y estructurar los contenidos de la investigación realizada. Para facilitarles dicha tarea, les proporcionamos un documento [3] que les sirva de 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.

Nos resta por comentar los beneficios que van a obtener los alumnos con la realización de un trabajo de investigación, pues somos conscientes de la dificultad adicional que dicha tarea representa para ellos. En primer lugar, esperamos que el alumno mejore sensiblemente su comprensión de los tópicos impartidos en la asignatura. También confiamos en que desarrolle su intuición en este campo de la Informática, acostumbándose a predecir el resultado de modificar algunos de los parámetros de la arquitectura del computador. Finalmente, pretendemos que el alumno se acostumbre a escribir informes técnicos, pues opinamos que dicha actividad es parte importante de las tareas que tiene que realizar todo buen profesional, se dedique o no a la investigación. Por tanto, el aprendizaje en la redacción de estos trabajos debería estar incorporado en su formación académica, pues no sirve de nada que una persona desarrolle un trabajo bueno si no lo da a conocer de una forma útil a otros profesionales, siendo los informes y memorias el mecanismo para presentar dicho trabajo.

### 3. Experiencia práctica

En esta sección presentamos los detalles concretos de cómo hemos llevado a la práctica el proyecto de investigación dentro de la asignatura de Arquitectura de Computadores de 4º curso de la Ingeniería Informática de la Universidad de Murcia.

En primer lugar, decir que la idea que hemos llevado a la práctica es que el trabajo de investigación no tenga por qué ser obligatorio, aunque se le 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 la calificación de notable) la asignatura sin necesidad de realizar dicha trabajo. De esta forma, pensamos que los alumnos gozan de una mayor libertad y se les motiva más para que se lancen a la *aventura*.

También nos gustaría comentar la cuestión relativa al número de personas que realizan juntas el trabajo. Recomendamos desarrollar el trabajo en 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. Sin embargo, y aunque en principio el trabajo no tiene exposición pública, nos reservamos el derecho de cambiar impresiones con los componentes del grupo acerca de diversos aspectos que no hayan quedado suficientemente claros en dicho trabajo, y en ese caso, se advierte a los alumnos que esperamos constatar que ambos componentes han trabajado por igual. En caso contrario, podríamos asignar una nota diferente a cada uno de los alumnos.

Con respecto al formato y a la extensión del trabajo, recomendamos al alumno que el trabajo de investigación lo presente en un documento con una extensión de entre 6 y 8 páginas, siguiendo el formato (en la medida de lo posible) del estilo que propone la editorial Springer-Verlag para su serie de monografías LNCS (*Lecture Notes in Computer Science*). En la página Web<sup>3</sup> de la asignatura ofrecemos dicho estilo (tanto en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X como en Word).

Para la elección del trabajo de investigación,

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

proponemos una serie de trabajos relacionados con cada uno de los 2 bloques en que se compone 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. La única restricción es que cada uno de los trabajos sólo lo podrá realizar un único grupo de personas. 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 que 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.

Para los trabajos relacionados con la primera parte de la asignatura hemos elegido el simulador `SimpleScalar` de la Universidad de Wisconsin [1], con el cual los alumnos ya tienen una cierta familiaridad debido a que lo han utilizado para realizar la 2ª práctica de la asignatura. Dichos trabajos se evalúan sobre 4 grupos de *benchmarks* de entrada, formados a partir del SPEC2000, tanto de coma entera como de coma flotante.

En cambio, las propuestas realizadas para los trabajos relacionados con la segunda parte de la asignatura se basan en el simulador `RSIM` de la Universidad de Rice [5], siendo este simulador nuevo para los alumnos. Esta es una dificultad adicional para los que eligen estos trabajos y que procuramos valorar adecuadamente. Para realizar las simulaciones, los alumnos utilizan 3 grupos de *benchmarks* de entrada, sacados en su mayoría de la *suite* SPLASH-2. Habitualmente, el estudio se realiza para un tamaño de máquina de 4 procesadores pudiendo ser interesante, en función de los resultados y de cara a la completitud del trabajo realizado, lanzar simulaciones con 8 procesadores.

En la figura 1 se relacionan algunas de las propuestas que realizamos para los trabajos de investigación del bloque primero de la asignatura. Hemos incluido tanto ejemplos de complejidad normal como algunos otros ejemplos

de una dificultad mayor, pues conllevan la modificación de parte de código del simulador.

Trabajos de complejidad normal	
1.	Evalúa la influencia de la <b>ejecución en orden o fuera de orden</b> ( <i>-issue:inorder true/false</i> ) y las ventajas que añade la <b>especulación</b> de instrucciones ( <i>-issue:wrongpath true/false</i> ). Justifica los resultados obtenidos para la configuración base y modifica los parámetros para obtener mejores prestaciones.
2.	Evalúa <b>cómo influye la memoria</b> en las prestaciones obtenidas en las aplicaciones utilizadas. Como memoria L1 podremos tener hasta 64 KB y como memoria L2 hasta 1 GB (ambos tamaños en total). Se puede escoger cualquier tipo de configuración para cualquiera de estas memorias. ¿Qué otro parámetro clave habría que haber variado para mejorar realmente la velocidad de los programas?. Mostrar resultados que avalen la respuesta anterior.
3.	¿Cuál es el <b>máximo IPC</b> que puede ser obtenido en los programas de evaluación poniendo en cada caso los parámetros más favorables (es decir, ancho de banda en cada subsistema ilimitado, predicción de saltos perfecta, etc)? ¿Hay algún otro parámetro clave que no permite variar el simulador y habría que haber variado para mejorar realmente la velocidad de los programas?
Trabajos de una mayor complejidad	
1.	Añade en el <code>simplescalar</code> la posibilidad de realizar <b>especulación en los accesos a memoria</b> . Estudia cómo se vería mejorada esta técnica con el apoyo de algoritmos de predicción de valor. Saca conclusiones para mejorar su eficacia.
2.	Añade en el <code>simplescalar</code> un <b>nuevo algoritmo de predicción de saltos</b> . Puedes añadir uno de los vistos en clase o bien uno de tu propia invención. Saca conclusiones para mejorar su eficacia. Nota: Las simulaciones se pueden desarrollar simplemente con el simulador funcional ( <code>sim-bpred</code> ).
3.	Añade en el <code>simplescalar</code> <b>nuevas organizaciones de cache que no estén soportadas en el simulador</b> . Puedes añadir cosas vistas en clase (caches de 3 niveles, <i>victim-cache</i> , etc) o bien ideas de tu propia invención. Saca conclusiones para mejorar su eficacia. Nota: Las simulaciones se pueden desarrollar en su mayoría con el simulador funcional ( <code>sim-cache</code> ).

Figura 1: Ejemplos de trabajos de investigación

Finalmente, nos resta comentar algo acerca del proceso de evaluación de estos trabajos. En el momento de presentar a los alumnos el trabajo de investigación, se detallan los criterios que vamos a seguir para su evaluación. Dichos criterios son los siguientes:

- Presentación y organización del trabajo
- Calidad técnica e ideas desarrolladas y relacionadas en el trabajo
- Investigación realizada y análisis de los resultados obtenidos
- Interés (amenidad) y legibilidad del trabajo

En función de esos 4 ítems, el alumno obtendrá la correspondiente nota del trabajo de investigación.

La otra cuestión relacionada con el proceso de evaluación es determinar cuánto influye la nota obtenida en este trabajo en la nota global obtenida por el alumno en la asignatura. Pensamos que, debido a la dificultad que entraña dicho trabajo y al tiempo que dedican los alumnos para realizarlo, debe tener un peso representativo en la nota final. En estos años, hemos estado variando la proporción que le correspondía entre un 20 % y un 30 %. La experiencia ha sido acertada, encontrando los alumnos que su esfuerzo se recompensaba adecuadamente en la nota final. En este último curso académico, el peso que le hemos dado al trabajo de investigación ha sido del 25 %.

#### 4. 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 desarrollar un trabajo con una marcada componente experimental, llegando incluso algunos de ellos a *disfrutar* con su realización. Además, y esto es lógicamente lo más importante, hemos comprobado cómo los alumnos mejoran su comprensión de los conceptos propios de la asignatura, entendiendo mejor las causas que han desencadenado los últimos avances en Arquitectura y las soluciones que se han aportado hasta el momento.

Con respecto al aprovechamiento del trabajo de investigación por parte de los alumnos, decir que habitualmente las notas obtenidas tienen una calificación en torno al 8. La mayoría de los alumnos que entregan el trabajo

Arquitectura e Ingeniería de Computadores – Evaluación Curso 2003/2004	
a) Cuestiones Puntuales: Puntúa de 1 a 5 (1=May en Disacuerdo - 5=May de Acuerdo) estos aspectos:	
1. ¿Qué opinas del trabajo de investigación?	
2. ¿Te parece que los trabajos de investigación refuerzan los conocimientos vistos en la asignatura?	
3. ¿Te ha servido para razonar y profundizar en los conocimientos de arquitectura?	
4. ¿Te ha parecido excesivo el grado de dificultad para realizar el proyecto de investigación?	
5. ¿Has investigado realmente?	
6. ¿Te parece que el trabajo de investigación tiene el peso adecuado en la nota final?	
7. (...)	
8. (...)	
d) Cuestiones GENERALES sobre la asignatura	
En términos generales, ¿qué valoración le merece la asignatura? ¿Por qué? _____	
A continuación puedes escribir cualquier comentario adicional, acerca de la asignatura y/o de los profesores para mejorar la docencia. _____	

Figura 2: Parte de la encuesta que se pasa a los alumnos

lo aprueban (95 %), y en estos años nos hemos encontrado con trabajos realmente buenos. Comentar que los mejores trabajos realizados son “colgados” de la página Web de la asignatura y quedan a disposición de todos los alumnos que los quieran consultar.

Pero no debemos mostrar únicamente nuestra opinión. Al finalizar la asignatura, tenemos por costumbre pasar a los alumnos una encuesta anónima para recabar su opinión sobre los diversos aspectos de la asignatura. En la figura 2 mostramos la parte de la encuesta que realizamos correspondiente al proyecto de investigación.

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

- El trabajo de investigación está valorado con una puntuación de 4 ó 5 (sobre 5) por el 84 % de los alumnos que realizan la asignatura.
- 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 encontrado por los alumnos, hay una mayor diversidad de opiniones. Aunque sólo el 20 % encuentra excesivo dicho grado de dificultad, es cierto que para la gran mayoría el trabajo de investigación supone un esfuerzo considerable.

- Por supuesto, el 100 % de los alumnos responde positivamente a la pregunta sobre si realmente el proyecto le ha servido para investigar.
- Con respecto a la valoración que los alumnos hacen sobre el porcentaje que debería tener el trabajo en la nota final, la mayoría (65 %) está de acuerdo con el peso asignado, y aunque hay un buen número de alumnos (25 %) que piensa que es excesiva la influencia que tiene en la nota final, también hay un reducido grupo de alumnos (10 %) que incluso llega a considerar insuficiente dicha ponderación.
- A pesar de que todos los años hay un cierto número de alumnos que podrían aprobar la asignatura sin haber realizado el trabajo de investigación, hasta ahora tan sólo nos hemos encontrado con una persona que haya procedido de ese modo.

En general, los alumnos valoran positivamente la asignatura y la labor realizada por los profesores de la misma, siendo el trabajo de investigación uno de los factores que contribuyen a dicha valoración. 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.

## 5. El proyecto de investigación en otras universidades

Antes de terminar este artículo, nos parece de interés dar información acerca de la implan-

tación de esta metodología en otras universidades, tanto españolas como americanas. La información que a continuación vamos a reflejar ha sido recopilada a partir de las páginas Webs de las diversas universidades.

El contenido de la asignatura de Arquitectura de Computadores que en España se da en el segundo ciclo de la carrera, corresponde en Estados Unidos a una (o varias) asignaturas de estudios de postgrado conducentes a un título de Master. Hemos consultado las universidades que habitualmente tienen más prestigio en Informática, y concretamente, donde hay grupos fuertes en Arquitectura de Computadores, como pueden ser la Universidad de California en Berkeley, la Universidad de Stanford, la Universidad de Wisconsin en Madison, la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign o el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), por citar sólo algunas de las más representativas. En todas ellas, sin excepción, la asignatura incluye el desarrollo de un proyecto de investigación, con características similares a las que ya hemos expuesto en relación al número de alumnos por trabajo, evaluación, porcentaje sobre la nota global, etc. Quizá la característica que más se diferencia con la propuesta que nosotros estamos desarrollando es la dificultad de los proyectos de investigación. En la mayoría de estas universidades la propuesta de trabajos realizada por el profesor es sensiblemente más difícil que la que nosotros realizamos, teniendo “a gala” en muchas de estas asignaturas el número de artículos en revistas y congresos que se publican a partir de dichos trabajos.

En el caso de las universidades españolas, hay una mayor diversidad de criterios. La mayoría de ellas tan sólo permiten al alumno la posibilidad de realizar un trabajo de investigación a nivel bibliográfico con el que poder mejorar la nota de la asignatura. En otras universidades, en cambio, se va introduciendo la “obligatoriedad” de realizar dicho trabajo. En cualquier caso, el procedimiento que se sigue es el de realizar al final del trabajo una exposición oral, pero habitualmente no hay que redactar un documento científico.

## 6. Conclusiones

En este artículo hemos presentado una propuesta sobre cómo incorporar la realización de un trabajo de investigación a la docencia de los contenidos de Arquitectura de Computadores que se imparten en el segundo ciclo de la titulación de Informática. 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 un trabajo de investigación dentro de la docencia de Arquitectura de Computadores es una práctica común en las universidades americanas, con unas características similares en todas ellas. La realización de dicho trabajo, con un coste en tiempo significativo, tiene una gran influencia en la nota que el alumno obtiene en la asignatura. De igual forma, es práctica habitual la realización de un documento del estilo de un informe técnico o artículo científico en el que mostrar los resultados alcanzados.

A partir de estos ejemplos en otros sitios, hemos mostrado cómo hemos llevado a la práctica dicha metodología docente, la experiencia con que nos hemos encontrado en estos años y los 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 preparar unas simulaciones y analizar los resultados obtenidos 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 tener que 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, el tener la oportunidad de constatar en la práctica aquello que se ha estudiado en las clases teóricas aumenta el interés de los alumnos por la Arquitectura de Computadores.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer las sugerencias de los revisores que han contribuido a mejorar la calidad de este artículo.

## Referencias

- [1] Todd Austin, E. Larson, and D. Ernst. SimpleScalar: An infrastructure for computer system modeling. *IEEE Computer*, 35(2):59–67, Febrero 2002.
- [2] José Duato, S. Yalamanchili, and 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] John L. Hennessy and David A. Patterson. *Computer Architecture. A Quantitative Approach*. Morgan Kauffmann, 1ª edición, 1990.
- [5] Christopher J. Hughes, Vijay S. Pai, Parthasarathy Ranganathan, and Sarita V. Adve. Rsim: Simulating shared-memory multiprocessors with ilp processors. *IEEE Computer*, 35(2):40–49, Febrero 2002.
- [6] William Stallings. *Computer Organization and Architecture: Designing for Performance*. Prentice Hall, 6ª edición, 2003.