

Estructura y Arquitectura de Computadores: propuesta de contenidos y técnicas docentes en la titulación de Ingeniería Informática

Fermín Sánchez Carracedo

Moderador

Miembro de Aenui

Dept. de Arquitectura de Computadors

Universitat Politècnica de Catalunya

fermin.sanchez @ upc.edu

1. Introducción

En este trabajo se presenta un resumen del debate realizado en la mesa redonda dedicada al tema de Estructura y Arquitectura de Computadores, celebrada el 13 de septiembre de 2007, a las 09:30, en el Aula 8 de la Escuela Universitaria de Estudios Sociales de Zaragoza, dentro del II Simposio Nacional de Docencia en Informática (SINDI). Este debate también formaba parte de las sesiones de las XVII Jornadas de Paralelismo (JP'2007)

2. Ponencia

A propuesta de los organizadores de las XVII Jornadas de Paralelismo (JP'2007), presenta la ponencia sobre el tema el Dr. Pedro de Miguel, Catedrático del Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad Politécnica de Madrid. El Dr. de Miguel tiene amplia experiencia en el área tanto en la docencia como en la investigación, y ha publicado varios libros relacionados con el tema que se usan como texto de referencia en varias universidades españolas. La ponencia del Dr. de Miguel puede encontrarse en este mismo libro de actas. A continuación se presenta un breve resumen de la misma.

La ponencia se centró en intentar dar respuesta a dos preguntas:

1.- ¿Qué peso troncal ha de darse a la Estructura y Arquitectura de Computadores dentro de los estudios de Grado en Ingeniería Informática?

2.- ¿Qué contenidos y orientación ha de tener el estudio de la Estructura y Arquitectura de Computadores dentro de los estudios de Grado en Ingeniería Informática?

Para ello, en primer lugar hizo una revisión del estado actual del mercado laboral para los actuales ingenieros informáticos. A continuación, describió las recomendaciones que el Libro Blanco [1] hace sobre este tema, así como las recomendaciones de otros organismos internacionales como ACM e IEEE [2]. Finalmente, realizó una propuesta de créditos y contenidos.

Dado lo ajustado de la sesión, tan sólo treinta minutos para presentar la ponencia, apenas hubo tiempo para hacer la propuesta de créditos y contenidos, por lo que el debate posterior se centró en aspectos más generales, pero no por ello menos importantes.

Los datos del INE referentes a empresas dadas de alta en 2007 según su actividad CNAE reflejan que 34.398 se dedican a actividades informáticas, mientras que sólo 1173 declaran dedicarse a la fabricación de máquinas de oficina y equipos informáticos. En cuanto a la evolución de las cifras, en los últimos años el número de empresas dedicadas a actividades informáticas no ha parado de crecer, mientras que el de las dedicadas a la fabricación de equipos informáticos ha disminuido. La evolución de los contratos registrados en las TIC en la Comunidad de Madrid y el perfil de las ofertas de trabajo que se ofrece a los ingenieros informáticos apoyan la idea de que el mercado laboral está claramente decantado hacia el software, y el porcentaje de trabajos relacionados con la Estructura y Tecnología de Computadores es más bien pequeño.

El libro blanco de la Ingeniería Informática [1] aboga por un único Grado de 240 créditos ECTS y cuatro años de duración, con un 60% de troncalidad. Por otra parte, organismos internacionales como ACM e IEEE definen distintos currículums para el ingeniero informático [2]. En la ponencia puede encontrarse un resumen detallado de estas titulaciones y su comparación con las sugerencias presentadas en el libro blanco.

La propuesta del ponente es realizar una titulación única de Ingeniero en Informática que tenga un perfil genérico, similar al *Computer Science* definido por ACM/IEEE. En esta propuesta, el tema de Estructura y Arquitectura de computadores tiene 12 créditos ECTS troncales. Para cursarlos, el estudiante debería poseer conocimientos previos de diseño lógico (circuitos digitales), dispositivos de almacenamiento, periféricos y programación en alto nivel.

En las asignaturas relacionadas con Estructura y Arquitectura de Computadores, el alumno recibiría una formación básica en evolución histórica de los computadores, funcionamiento y características del computador y paralelismo, que contribuirían a que adquiriese atribuciones y competencias profesionales en:

- Evaluación del rendimiento y dimensionamiento de sistemas
- Programación de sistemas
- Optimización de código
- Seguridad de sistemas

Los objetivos generales de las asignaturas relacionadas con Estructura y Arquitectura de computadores serían los siguientes:

- Formar al alumno en el funcionamiento del computador, su evolución histórica y sus tendencias actuales
- Permitir al alumno diseñar aplicaciones contemplando prestaciones, seguridad, portabilidad y robustez a partir del conocimiento de cómo ejecuta un computador un programa, cómo almacena la información y cómo se comunica con los periféricos
- Servir como base para el estudio de otras materias tales como compiladores, sistemas operativos, redes y arquitecturas avanzadas
- Capacitar al alumno para la evaluación y el dimensionamiento de sistemas,

dotándole de una sólida base para la administración de sistemas

- Introducir al alumno en la problemática del paralelismo y de las implicaciones de su explotación

En la ponencia puede encontrarse una propuesta de contenidos y créditos ECTS para satisfacer los requisitos descritos anteriormente, así como una descripción detallada de los contenidos y objetivos de los temas definidos como prerrequisitos.

3. Debate

Tras la ponencia se abrió el debate, que a instancias del moderador se centró en discutir sobre los siguientes temas:

- Competencias técnicas fundamentales relacionadas con la Estructura y Arquitectura de Computadores
- Competencias genéricas transversales de los futuros titulados del Grado
- Recursos docentes necesarios para que los titulados adquieran las competencias
- Técnicas docentes apropiadas para conseguir los objetivos propuestos por las asignaturas en el nuevo modelo de enseñanza-aprendizaje del EEES

A continuación se describen las diferentes propuestas y comentarios que se realizaron durante el debate, organizadas por temas en secciones y detallando el nombre y afiliación de las personas que participaron en cada tema de discusión.

3.1. Competencias de la titulación de Graduado en Ingeniería Informática

Los primeros comentarios del debate se organizaron en torno a la relación entre las competencias de una titulación de Grado en Ingeniería Informática y los objetivos formativos de las asignaturas relacionadas con la materia de Estructura y Arquitectura de Computadores. En esta línea de debate intervinieron los profesores Juan José Escribano, de la Universidad Europea de Madrid, Pedro de Miguel, de la Universidad Politécnica de Madrid, Ramon Puiganyer y Joe

Miró, ambos de la Universitat de les Illes Balears y Jordi García, de la Universitat Politècnica de Catalunya

En primer lugar, se felicitó al ponente por la claridad con que las competencias técnicas relativas al tema de discusión habían sido definidas en la presentación, al igual que los objetivos de las asignaturas. Se le preguntó qué competencias técnicas relacionadas con la Estructura y Arquitectura de Computadores consideraba más importantes. El ponente sostuvo que no hay unas competencias más importantes que otras, que es preciso realizar un plan global para desarrollar todas las competencias técnicas. En su opinión, en cualquier asignatura relacionada con el tema se pueden desarrollar, en mayor o menor grado, todas las competencias técnicas relacionadas. Para ello, es fundamental definir con claridad el enfoque que se quiere dar a cada asignatura y la forma en la que se imparten sus clases: clases magistrales, aprendizaje basado en problemas, etc. De ello depende en gran medida la cantidad y profundidad en que se desarrollarán las competencias técnicas. Además, remarcó que estas competencias deben desarrollarse desde el primer día de clase del primer curso, y no esperar a que el alumno adquiera una formación sólida de matemáticas y otras materias para empezar a adquirirlas.

Respecto al enfoque de las asignaturas, se planteó que lo más adecuado era orientar el aprendizaje a comprender el funcionamiento básico de los dispositivos, haciendo más énfasis en los aspectos funcionales que en los aspectos de diseño.

En cuanto a la forma de dotar a los egresados de competencias técnicas, se discutió sobre si era más apropiado hacerlo en asignaturas específicas para cada competencia o bien desarrollarlas conjuntamente en asignaturas más generales. Se planteó que era una decisión que debía tomar el centro y que esta decisión debía tomarse antes de comenzar el diseño de las asignaturas.

Respecto a las competencias transversales, se destacó que los estudios actuales de ingeniería informática no le dan apenas importancia y que eso debe cambiar en los nuevos títulos de Grado. Debe realizarse un planteamiento global a nivel de centro para darles la importancia que merecen y establecer criterios e indicadores que permitan evaluarlas. No es suficiente con proporcionar las

herramientas, hay que medir los resultados. Por ejemplo, podemos pensar que en la titulación actual de Ingeniería en Informática se desarrolla la competencia transversal “trabajar en equipo”, dado que las prácticas de muchas asignaturas se realizan en grupos, usualmente de dos personas.

Eso, sin embargo, es muy discutible. Parece presuntuoso considerar como grupo a una pareja. La competencia transversal “trabajar en equipo” se refiere a equipos más o menos numerosos de personas que trabajan en un mismo proyecto, y que a menudo son multidisciplinares o internacionales. Realizar prácticas en un grupo de dos no parece, a priori, suficiente para asumir que esta competencia se ha desarrollado, máxime cuando lo que en realidad sucede en un porcentaje no desdeñable de casos es que los alumnos de un mismo “equipo” se reparten las prácticas de diferentes asignaturas, de forma que cada uno de ellos trabaja en una asignatura diferente sin interactuar con el resto de componentes del equipo, no desarrollando por lo tanto la competencia en cuestión.

3.2. Empleabilidad versus orientación del Grado en Ingeniería Informática

El segundo tema que se planteó en el debate fue “qué influencia debía tener el estudio de empleabilidad presentado, y otros estudios similares, en la orientación de los estudios de Grado en Ingeniería Informática y, por lo tanto, en las competencias técnicas de la titulación, los objetivos formativos de las asignaturas y sus contenidos”. Intervinieron en esta parte del debate los profesores Jordi García, de la Universitat Politècnica de Catalunya, Ramon Puiganyer, de la Universitat de les Illes Balears, Pedro de Miguel, de la Universidad Politécnica de Madrid, y Ana Pons y Antonio Robles, ambos de la Universitat Politècnica de Valencia.

El ponente remarcó que el grueso del mercado requiere graduados especializados en lo que ACM/IEEE denomina *Software Engineering*, pero que en su propuesta él aboga por un título más generalista que dote a los egresados de una formación más diversificada, un título más parecido a lo que ACM/IEEE denomina *Computer Science*.

Se destacó que no hay un perfil profesional claramente definido para Estructura y Tecnología de Computadores. Se planteó que, dado que la misión de las asignaturas relacionadas con Estructura y Arquitectura de Computadores era proporcionar una base tecnológica sólida que permita al alumno afrontar otras materias, tal vez no tenía demasiado sentido dedicar tiempo a la realización de prácticas específicas dentro de las asignaturas relacionadas con estos temas y que tal vez sería más apropiado realizar estas prácticas de forma conjunta con otras asignaturas, como por ejemplo las relacionadas con los sistemas operativos.

En cuanto a cómo los alumnos reaccionan ante la percepción de que la empleabilidad está del lado del software, se indicó que los estudiantes evitan las especialidades relacionadas con la Estructura y la Arquitectura de Computadores y tienden a escoger, cuando disponen de capacidad de elección, asignaturas relativas a temas más relacionados con la ingeniería del software. Por ello, se destacó que era preciso realizar un planteamiento más transversal en las asignaturas relacionadas con Estructura y Arquitectura de Computadores, de forma que los alumnos las percibieran como más útiles para su futuro profesional. Para ello, es fundamental hacer más énfasis en la aplicabilidad de los temas desarrollados en estas asignaturas, dando menos importancia a los contenidos en sí mismos.

Este punto es especialmente importante porque, en la mayoría de asignaturas relacionadas con el software se parte de la base de que la potencia de los computadores es infinita y no suelen considerarse fundamentales aspectos relativos al rendimiento, dándole mucha más importancia al estilo de programación frente a la eficiencia de los programas.

3.3. Técnicas y recursos docentes

El tercer eje del debate se centró en discutir sobre “qué técnicas docentes serán más apropiadas en los nuevos estudios de Grado y qué recursos serán necesarios para conseguir los objetivos de la nueva titulación de Graduado en Ingeniería Informática, según los criterios impuestos por el Espacio Europeo de Educación Superior”.

En este punto del debate realizaron intervenciones los profesores Pablo Martínez, de

la Universidad de Extremadura, Juan José Escribano, de la Universidad Europea de Madrid, Pedro de Miguel, de la Universidad Politécnica de Madrid, Ramon Puiganeer, de la Universitat de les Illes Balears, Fermín Sánchez, de la Universitat Politècnica de Catalunya y Rafael Mayo, de la Universitat Jaume I.

Se destacó que cada vez se reduce más el número de horas docentes, ya que el nuevo Grado tendrá presumiblemente una duración de cuatro años, frente a los cinco años de la actual Ingeniería Informática. Procede, por lo tanto, plantearse cómo se puede aumentar la rentabilidad docente de las horas presenciales, ya que por otra parte la cantidad de contenidos de las materias relacionadas con la informática no para de crecer. ¿Es posible compensar estas variables y resolver satisfactoriamente la ecuación?

Una forma de hacerlo es aprovechar que los ECTS tienen en cuenta el esfuerzo del alumno, no el tiempo de clase presencial con el profesor. Por lo tanto, parece razonable que la misión del profesor sea la de servir de guía conductor en los estudios, pero que una gran parte del esfuerzo debe ser realizado por el estudiante de forma individual o trabajando en equipo fuera de horas de clase.

Respecto a las metodologías docentes empleadas, se destacó que se siguen usando en nuestras aulas las clases magistrales en pizarra como recurso fundamental, aunque progresivamente se está migrando hacia clases impartidas mediante transparencias, primero en soporte de plástico y actualmente con soporte electrónico usando programas como *Power Point*. Este cambio tiene un efecto directo en la forma de captar conocimiento de los estudiantes, ya que el ritmo de una clase magistral con transparencias es muy superior al ritmo de una clase de pizarra y en ocasiones puede ser incluso demasiado alto, por lo que es preciso controlar muy bien la cantidad y profundidad de conceptos que se imparten para que no sea superior a la capacidad de asimilación de los estudiantes.

Por otra parte, el uso de transparencias en las clases ha facilitado la publicación de apuntes para los alumnos (a menudo las mismas transparencias del profesor), ya que no es necesario describir los contenidos con detalladas explicaciones. Basta con publicar las transparencias de clase de forma que el alumno toma apuntes sobre ellas. Esto es un arma de doble filo, porque muchos alumnos

consideran que las transparencias en sí mismas son suficientes para estudiar y por ello dejan de tomar apuntes. Sin embargo, aquellos que hacen sus anotaciones sobre las transparencias, o usando éstas como base, pueden mejorar su rendimiento porque pueden dedicar más tiempo a pensar en clase y menos a copiar lo que el profesor escribe en la pizarra o dice en clase.

Debemos plantearnos la utilidad real de las clases magistrales y tal vez usar otro tipo de metodología docente menos centrada en la impartición de conocimiento por parte del profesor, ya que a menudo estas clases son como “predicar en el desierto”. Los alumnos disponen de las transparencias de clase con antelación y a menudo piensan que estudiándolas tendrán suficiente para aprobar, por lo que no prestan atención a las explicaciones del profesor o no van a clase.

Por otra parte, el hecho de haber pasado de cursos anuales a cursos semestrales (o cuatrimestrales, de hecho), tiene el mismo efecto que el pasar de clases en pizarra a clases con transparencias. Los alumnos disponen ahora de la mitad de tiempo para asimilar la misma cantidad de conocimiento, o incluso más si tenemos en cuenta que ahora somos capaces de impartirlos más deprisa gracias al soporte que nos proporcionan las nuevas tecnologías.

Respecto a la forma de abordar el conocimiento, se destaca que hay dos enfoques claramente diferenciados:

- distribuir la materia de forma disjunta entre asignaturas, de forma que en cada asignatura se estudie con la profundidad deseada un tema específico, y este tema no se trate o se trate de forma muy superficial en otras asignaturas
- Abordar el conocimiento de forma concéntrica, de forma que un mismo tema se trate a diferentes niveles en diferentes asignaturas. Así, cada asignatura proporcionaría un conocimiento incremental sobre los temas tratados en asignaturas estudiadas con anterioridad por el alumno

Clásicamente se ha usado la primera aproximación. Por ejemplo, memoria cache se estudiaba a fondo en una única asignatura. Sin embargo, parece más apropiado usar el modelo “cebolla”, de forma que en cada asignatura se dé

una visión de conjunto del computador, cada vez más completa, en lugar de estudiar las distintas partes del computador en asignaturas diferentes.

Otro tema que se debatió fue cómo la forma en que se enseña en la universidad afecta al egresado el resto de su vida, una vez ha abandonado la universidad. La exigencia de mantener un esfuerzo continuado y suficiente durante el tiempo que duran los estudios hace que los estudiantes estén capacitados para afrontar la necesidad de mantener un esfuerzo más o menos constante durante su vida laboral. Sólo obtienen el título aquellos estudiantes que han sido capaces de demostrar que poseen esa capacidad de esfuerzo.

Sin embargo, no está claro que los estudios de la universidad ayuden al estudiante a aprender cómo realizar y mantener ese esfuerzo, sino que más bien tienden, en muchos casos, a seleccionar a los estudiantes que, por sí mismos, son capaces de autoaprender cómo hacerlo.

Usando un símil atlético, es como si la universidad fuese una carrera de obstáculos -o vallas-, y sólo los estudiantes que son capaces de superar todos los obstáculos consiguen el título. Pero hay dos maneras de enfocar esta carrera de obstáculos:

- Poner las vallas y sentarse a ver cuántos alumnos son capaces de llegar al final
- Enseñar a los estudiantes cómo han de saltar los obstáculos y ayudarles de forma paulatina hasta que sean capaces de hacerlo por sí mismos

Desgraciadamente, en demasiados casos se sigue la primera aproximación. Hemos de tener cuidado para que en los nuevos estudios de Grado en Ingeniería en Informática se siga la segunda.

Siguiendo con éste símil, y relacionándolo con el tema de las competencias profesionales, es básico identificar cuáles son las vallas que deben saltar los alumnos, para no conducirlos en la dirección equivocada poniéndoles vallas equivocadas o demasiado altas. Más aún, si se les enseña a saltar un tipo de vallas, se debe evaluar cómo saltan esas vallas y no otras. Ese es otro error que cometemos frecuentemente en nuestras asignaturas, evaluando a los estudiantes de objetivos distintos a los que se han trabajado en las clases de la asignatura. Eso no quiere decir que no se les pueda exigir estar en posesión de conocimientos que no hayan sido impartidos en

clase por el profesor. Todo lo contrario. Los objetivos deben estar claramente definidos desde el inicio del curso, así como cuáles de ellos se trabajarán en clase y cuáles debe trabajar el alumno de forma personal. Al final del proceso de aprendizaje, el objetivo ha de ser que el alumno haya adquirido la capacidad de aprender de forma autónoma, debe haber aprendido a aprender.

Finalmente, se destacó que el tema de los recursos es básico para poder aplicar metodologías docentes adecuadas. Por ejemplo, la tipología de las aulas del centro determina en gran medida las metodologías docentes a usar en ellas. Si las aulas son de tipo anfiteatro inclinado, están claramente enfocadas a la realización de clases magistrales y difícilmente sirven para aplicar otras metodologías docentes que requieren, por ejemplo, que las mesas y sillas no estén atornilladas al suelo para facilitar que los alumnos se reúnan en equipos para trabajar los distintos temas de la asignatura.

Como conclusión, se expuso que el porcentaje de profesores que habían cambiado de metodología docente en sus clases en los últimos años, desde que se impulsó el proceso de Bolonia en 1999, es muy reducido, lo cual no invita a ser optimista de cara a pensar que este porcentaje aumentará en los nuevos estudios de Grado en Ingeniería Informática si no se dan las condiciones adecuadas para ello.

4. Conclusiones

El mercado laboral tiene en la actualidad una gran demanda de titulados universitarios en informática que las universidades españolas no son capaces de satisfacer. Por ello, un gran número de estudiantes de nuestras facultades de informática disponen de un trabajo remunerado mucho antes de acabar sus estudios universitarios, y algunos de ellos no los terminan debido precisamente a la presión que el mercado laboral ejerce sobre ellos.

Por otra parte, el mercado laboral está claramente decantado hacia ofertas relacionadas con la ingeniería del software, lo que hace que las asignaturas relacionadas con la Estructura y Arquitectura de los Computadores no sean vistas por los estudiantes como importantes de cara a su futuro laboral. Una gran culpa de este hecho la tenemos los propios docentes por el enfoque clásico que se les continúa dando a estas

asignaturas, centrando sus objetivos y contenidos en el estudio del propio computador y perdiendo a menudo la perspectiva de que el ordenador es una herramienta para resolver problemas y dar servicio a la sociedad.

El diseño del nuevo Grado en Ingeniería Informática dentro del Espacio Europeo de Educación Superior debería contribuir a paliar este efecto. El nuevo Grado debe ser diseñado a partir de las competencias profesionales, por lo que los objetivos de las asignaturas deberán estar supeditados a dichas competencias. No por ello se olvidará la formación básica, fundamental para cualquier ingeniero, pero se le dará a las competencias profesionales una relevancia mayor que la que poseen en la actualidad en los estudios de Ingeniería Informática, en los que el enfoque es fundamentalmente académico.

En particular, los empleadores están razonablemente satisfechos de las competencias técnicas mostradas por los actuales ingenieros en informática, pero muy descontentos con las competencias transversales que demuestran, ya que éstas apenas se trabajan en la universidad española. Por ello, uno de los grandes cambios que se avecinan es la inclusión de estas competencias en nuestras asignaturas, en forma de objetivos formativos. Esto probablemente acarreará cambios significativos en las metodologías docentes empleadas, ya que muchas de estas competencias transversales no pueden conseguirse estudiando asignaturas específicas, sino que deben desarrollarse durante todo el proceso de aprendizaje mediante el uso de técnicas docentes apropiadas.

El hecho de haber pasado de cursos anuales a cursos semestrales (o cuatrimestrales, de hecho), sumado al efecto que tiene el pasar de clases en pizarra a clases con transparencias, hace que los alumnos dispongan ahora de mucho menos tiempo para asimilar la misma cantidad de conocimiento –o más si tenemos en cuenta que los contenidos en informática no hacen más que crecer-, por lo que hemos de ser cuidadosos al definir los objetivos de las asignaturas y, sobre todo, al evaluarlos. Objetivos demasiado ambiciosos conducirán sin duda al fracaso si están por encima de la media de capacidad de los alumnos, y una evaluación defectuosa (no acorde con los objetivos planteados) puede provocar que alumnos que hayan conseguido alcanzar los objetivos de la asignatura, sin embargo, la suspendan.

Probablemente, la aplicación de nuevas metodologías docentes no será fácil de implantar debido a las reticencias que los propios profesores tendrán para cambiar su forma de impartir docencia, pero el nuevo modelo de enseñanza-aprendizaje centrado en el aprendizaje del alumno, en lugar del modelo clásico centrado en la enseñanza del profesor, requiere que los profesores nos adaptemos a la nueva situación.

La implantación de nuevas metodologías docentes, sin embargo, no será posible si no se dota a las universidades de los recursos apropiados para desarrollarlas, por lo que los presupuestos de las universidades deben tener en cuenta la realización de cambios estructurales en las aulas y la implantación de las nuevas tecnologías en los procesos de aprendizaje.

Finalmente, el nuevo modelo de enseñanza del Espacio Europeo de Educación Superior exige también un reconocimiento de las tareas desarrolladas por el profesor más allá del tiempo dedicado presencialmente a los alumnos, ya que las experiencias llevadas a cabo por las universidades en los últimos años demuestran que el nuevo modelo es más exigente con el profesor que el modelo anterior, requiriendo mayor

dedicación por su parte. Si esta dedicación no es reconocida de forma adecuada, los profesores no estarán dispuestos a usar nuevas metodologías docentes y el nuevo modelo fracasará.

El fructífero debate sobre este y otros asuntos empezó en esta sesión del SiNDI y esperamos que continuará en los espacios virtuales creados por AENUI a tal efecto.

Asistentes

La lista de asistentes al debate puede encontrarse en la introducción de estas actas.

Referencias

[1] J. Casanovas, J.M. Colom, I. Morlán, A. Pont y M.R. Sancho, *El libro blanco de la Ingeniería en informática: el proyecto EICE*, JENU12004, http://www.aneca.es/modal_eval/docs/libroblanco_informatica.pdf

[2] *IEEE / ACM Computing Curricula*. <http://www.computer.org/education/cc2001/>