

Tecnología de Computadores: Propuesta de contenidos y técnicas docentes en la titulación de Ingeniería Informática

Francisco Pelayo
Dept. de Arquitectura y Tecnología
de Computadores
ETS Ingeniería Informática
Univ. de Granada
18071 Granada
fpelayo@ugr.es

Resumen

El presente documento resume una serie de ideas, reflexiones y propuestas sobre contenidos y técnicas docentes relativas a la materia "Tecnología de Computadores" en los nuevos títulos de Grado de Ingeniería Informática. Pretende ser un punto de partida para la discusión en la correspondiente sesión organizada por el SINDI, dentro del CEDI'2007.

1. Planteamiento inicial

A propuesta del Comité Organizador del SINDI, el contexto inicial para la preparación de esta ponencia ha sido el libro blanco "Título de Grado en Ingeniería Informática" editado por la ANECA (elaborado en 2004; última versión del documento: junio de 2005).

Según el preámbulo del citado libro blanco, para su elaboración se partió de las premisas publicadas por el MEC en un documento marco de febrero de 2003. En este documento se expresaban ciertas restricciones que han condicionado el desarrollo y conclusiones del libro blanco. Concretamente, el documento del MEC establecía:

"Asociado con los perfiles profesionales, deberá definirse un catálogo de títulos de primer nivel, tomando como punto de partida el actual, pero propiciando una disminución mediante las fusiones o agrupaciones necesarias para racionalizar el conjunto tanto desde el punto de vista nacional como europeo"

De acuerdo con esto, el libro blanco concluye proponiendo una única titulación en Ingeniería Informática, en la que se contemplan tres "perfiles profesionales": *Desarrollo de software, Sistemas,*

y Gestión y explotación de las TI. No obstante la especialización en estos perfiles está bastante limitada dentro de los estudios de Grado, para los que se pretende una formación más generalista, dejando para los estudios de Master una mayor especialización.

En consonancia con las citadas directrices del Ministerio, en el año 2005 se publicó el Real Decreto 55/2005, que establecía la estructura de las enseñanzas universitarias y la regulación de los estudios oficiales de Grado. Quedábamos entonces a la espera de la normativa que regulara las directrices generales propias de los distintos títulos universitarios. Estas directrices establecerían los contenidos formativos comunes a incluir en todos los planes de estudios que condujesen a la obtención de un mismo título, y era de esperar que se ajustasen a las conclusiones del libro blanco.

2. La situación actual

De acuerdo con el documento *borrador de Real Decreto por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales* (en su redacción del 26-junio-2007; actualmente disponible en <http://www.mec.es>), y con otras reglamentaciones anteriores elaboradas para adaptar los estudios universitarios españoles al EEES (Leyes Orgánicas 6/2001 y 4/2007), las enseñanzas universitarias conducentes a la obtención de títulos de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional se estructuran definitivamente en tres ciclos: Grado, Máster y Doctorado. Se establece que *las enseñanzas de Grado tienen como finalidad la obtención por parte del estudiante de una formación general,*

junto a otras orientadas a la preparación para el ejercicio de actividades de carácter profesional.

La gran novedad que aporta el Real Decreto es que los títulos serán propuestos por las universidades, que podrán presentar al RUTC (Registro de Universidades, Centros y Títulos) una titulación con cualquier denominación, siempre que se ajuste a las directrices de la *rama de conocimiento* a que se adscriba y se justifique su interés social y profesional, y la disponibilidad de recursos para su impartición.

Exceptuado aquellas titulaciones para las que se deba establecer una duración mayor, el título de Graduado supondrá la superación de 240 créditos ECTS, en la forma prevista en el correspondiente plan de estudios, que deberá contener toda la formación teórica y práctica que el estudiante deba adquirir: *aspectos básicos de la rama de conocimiento, materias obligatorias u optativas, seminarios, prácticas externas, trabajos dirigidos, trabajo de fin de Grado, u otras actividades formativas.* En principio se han identificado cinco ramas de conocimiento, y las titulaciones de Informática quedarían adscritas a la rama “Ingeniería y Arquitectura”, en la que se establecen como materias básicas: *Física, Matemáticas, Informática, Empresa, Expresión gráfica y Química.* Las titulaciones deberán contener un mínimo de 60 créditos de formación básica en las materias de las distintas ramas, que deberán ofertarse en los dos primeros cursos del plan de estudios. Al menos 36 de los 60 será de la rama de conocimiento a la que se adscriba el título; y el resto hasta 60 deberán configurarse por materias básicas de otras ramas, o por otras materias que puedan justificarse como básicas para la formación inicial del estudiante.

Es importante destacar que para las materias de formación básica existirá un reconocimiento automático de créditos entre titulaciones que pertenezcan a la misma rama.

Por otra parte, dentro del cómputo de los 240 créditos, se incluye un trabajo de fin de grado que puede tener una extensión entre 6 y 30 créditos. También se contempla la realización de prácticas externas, con una duración máxima de 60 créditos, que deberán ofrecerse en los dos últimos cursos académicos.

La entrada en vigor del citado Real Decreto supondrá la derogación del RD 55/2005, que establecía la estructura de las enseñanzas universitarias y la regulación de los estudios de

Grado, y del RD 56/2005, que regula los estudios universitarios oficiales de Postgrado.

En la propuesta de títulos universitarios de Grado por parte de las universidades se debe especificar:

1. Descripción del Título (denominación, Universidad solicitante, plazas ofertadas, número mínimo de créditos, etc.)
2. Justificación (interés académico, científico o profesional; referentes externos, etc.)
3. Objetivos (fundamentalmente en términos de competencias que deberán adquirir los estudiantes; incidimos en este punto más adelante en la Sección 3)
4. Sistemas y procedimientos de acceso y admisión de estudiantes
5. Planificación de las enseñanzas, que deberá especificar:

- 5.1 La estructura de las enseñanzas (denominaciones de los distintos módulos o materias, sus contenidos en créditos ECTS, su organización temporal semestral, trimestral, etc, y su carácter obligatorio u optativo). Se incluirá un resumen de la distribución global de las materias según el siguiente cuadro:

Tipo de Materia	Créditos
Formación básica	
Obligatorias	
Optativas	
Prácticas externas (si se incluyen)	
Trabajo fin de Grado	
TOTAL	240

- 5.2 La descripción de los distintos módulos o materias de enseñanza-aprendizaje que componen el plan de estudios, incluyendo las prácticas externas y el trabajo de fin de Grado (especificando su denominación, competencias que adquiere el estudiante con dicho módulo o materia, breve descripción de contenidos, actividades formativas y método de enseñanza-aprendizaje, sistema de evaluación y de calificaciones)
 - 5.3 Los procedimientos para la organización de la movilidad de estudiantes, incluyendo el sistema de reconocimiento y acumulación de créditos.
6. Personal académico (el necesario y el ya disponible)
 7. Recursos materiales y servicios (justificación de adecuación de los disponibles, y previsión de adquisición de los no disponibles)

8. Resultados previstos (estimación de la tasa de graduación, de abandono, y de eficiencia; y especificación del procedimiento general de la universidad para valorar el progreso del aprendizaje de los estudiantes)
9. Sistema de garantía de calidad (responsables del sistema de garantía de la calidad, procedimientos de evaluación y mejora, procedimientos de análisis de la inserción laboral, y de la satisfacción tanto de los estudiantes y graduados como del personal académico y el PAS)
10. Calendario de implantación.

3. Los objetivos y las competencias

De acuerdo con las directrices del Ministerio, coincidente con el espíritu del libro blanco, los *objetivos* de los nuevos planes de estudios se centran en torno a la *adquisición de competencias* por parte de los estudiantes, ampliando (no excluyendo) el tradicional enfoque basado principalmente en contenidos y en horas lectivas. Se deberá por tanto hacer énfasis en los métodos de aprendizaje de dichas competencias, así como en los procedimientos para evaluar su adquisición.

Hay que puntualizar que el término *competencia* es utilizado exclusivamente en su acepción académica, y no en su acepción de *atribución profesional*. Las competencias se identifican con una *combinación de conocimientos, habilidades (intelectuales, manuales, sociales, etc.), actitudes y valores* que capacitan al titulado para afrontar con garantías la resolución de problemas o la intervención en un asunto en un contexto académico, profesional o social determinado.

Para favorecer el desarrollo de competencias, los métodos de enseñanza y las actividades formativas contempladas en un plan de estudios, deben combinar y hacer explícitas diferentes modalidades de estudio (individual, dirigido, etc.) y actividades (en las aulas o laboratorios, en forma de prácticas externas, etc.)

En consonancia con lo anterior, según el texto del RD se establece que en la propuesta de plan de estudios, el apartado “3. *Objetivos*” citado en la Sección 2 deberá incluir la relación de competencias generales y específicas que los

estudiantes deben adquirir durante sus estudios y que sean exigibles para otorgar el título. Dichas competencias deben ser evaluables. Además impone que, para el título de Grado, que se garantice un conjunto mínimo de competencias básicas, junto con aquellas otras que figuren en el MECES: Marco Español de Cualificaciones para la Educación Superior, que será definido por el comité recientemente nombrado en el Real Decreto 900/2007, de 6 de julio de 2007. El conjunto de competencias básicas garantizadas debe ser:

- *que los estudiantes hayan demostrado poseer y comprender conocimientos en un área de estudio que parte de la base de la educación secundaria general, y se suele encontrar a un nivel que, si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluye también algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de su campo de estudio;*
- *que sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio;*
- *que tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética;*
- *que puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado;*
- *que hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.*

Por su parte, en el libro blanco se recogen los resultados de un estudio sobre las competencias profesionales del Ingeniero en Informática, con la opinión de empresas, titulados y profesores. El libro distingue entre “competencias transversales genéricas”, comunes a los tres perfiles profesionales propuestos, y un relación amplia de “competencias específicas”, para las que se establece una valoración relativa según cada perfil. Dentro del primer grupo, las competencias más valoradas por los tres colectivos citados son: *la capacidad de análisis y de síntesis, la capacidad de organización y planificación, el*

trabajo en equipo, y la motivación por la calidad y la mejora continua.

4. Tecnología de Computadores en los estudios de Ingeniería Informática

Si tomamos como referencia la propuesta del libro blanco, en la titulación de Graduado en Ingeniería Informática se contemplan dos categorías de materias para los 240 créditos ECTS del Título de Grado: *Contenidos Formativos Comunes* (un 60% del total de créditos), y *Materias determinadas específicamente por la universidad* (con un 40% de los créditos). Dentro de los contenidos formativos comunes, el libro propone las cuatro categorías: *Fundamentos científicos, Contenidos específicos de la Ingeniería Informática, Contenidos Generales de la Ingeniería y Proyecto Fin de Carrera*. De ellas, la categoría de contenidos específicos de la Ingeniería Informática es la que tiene mayor peso específico, con un porcentaje entre el 35% y el 40% del total de créditos. Esta categoría se divide en cuatro subcategorías:

- *Programación,*
- *Ingeniería del software, sistemas de información y sistemas inteligentes*
- *Sistemas operativos, sistemas distribuidos y redes*
- *Ingeniería de computadores*

De ellas, la subcategoría “Ingeniería de Computadores” comprende los descriptores: *Fundamentos, Estructura y Arquitectura de computadores. Tecnología de Computadores.*

El libro blanco propone que sea cada universidad la que fije en su plan de estudios una mayor o menor dedicación a cada una de las subcategorías. Esta ponderación relativa, junto con el conjunto concreto de materias (obligatorias y optativas) determinadas discrecionalmente por la universidad, serviría para ahondar en uno o varios de los perfiles profesionales para sus egresados, de acuerdo con su realidad próxima.

Por otra parte, según las directrices actuales del Ministerio apuntadas en la Sección 2, se da en principio mayor libertad a las universidades en la configuración de los títulos, de manera que frente a las restricciones que pueda suponer un título de Grado único, se da la opción de configurar planes

de estudios con un espectro más amplio de componentes formativos específicos.

Previsiblemente ocurrirá que el conjunto de materias relacionadas con la Tecnología de Computadores tendrá, como ocurre en los planes de estudio en vigor, un peso específico desigual en las distintas universidades. Actualmente, en los planes de estudio de Ingeniería Informática de algunas universidades españolas, las materias relacionadas con la tecnología de computadores se reducen a una pequeña parte de las totales del área, incluidas en asignaturas de fundamentos y de estructura de computadores. En otras universidades por el contrario se imparten asignaturas específicas de tecnología de computadores junto con una oferta más amplia de asignaturas afines relacionadas con el diseño de sistemas digitales (en su sentido más amplio). El tejido docente e investigador con que se cuenta en tecnología de computadores es actualmente muy variable entre universidades. Esta variabilidad tiene buena parte de su justificación en el origen de las respectivas titulaciones, regido por el sistema de áreas de conocimiento de nuestro país. Muchas propuestas de planes de estudios emanaron inicialmente de departamentos de Matemáticas o de Física, y con la participación de áreas de conocimiento con peso específico muy distinto en cada universidad.

4.1. Referentes externos

La extraordinaria evolución y expansión de la Informática, y de las TIC es general, con ramificaciones transversales que abarcan prácticamente todos los campos de la actividad científico-técnica y profesional de nuestra sociedad, ha motivado también una diversificación de las especialidades de estudio. Sin perder de vista las directrices del EEES, que parecen aconsejar cierta unificación en las titulaciones universitarias, o al menos que se garantice la transferencia entre las titulaciones afines, lo cierto es que entidades de reconocido prestigio internacional como la ACM y el IEEE abogan más por una articulación de los estudios de pre-grado en Informática en un conjunto separado de programas más claramente diferenciados. Así, se planteó en el documento “Computing Curriculum de IEEE/ACM” del año

2001 (CC2001), con la elaboración de recomendaciones para cuatro currículos: *Computer Science*, *Computer Engineering*, *Software Engineering* e *Information Systems*. A partir de ahí se han venido desarrollando documentos de recomendaciones separados para cada uno de los currículos (*CE2004*, *SE2004* e *IS2002*), al que se ha sumado posteriormente *Information Technology (IT2005, borrador)*. Todos ellos se relacionan en el informe conjunto "Computing Curricula Overview Report" (CC2005), que recoge los principios generales y elementos comunes del conjunto de disciplinas. Esto lleva a un modelo de cuatro o cinco titulaciones universitarias de grado que se está aplicando en Estados Unidos, y que va también en la línea de las propuestas existentes en algunos países europeos. El modelo propuesto en el libro blanco, aunque contempla sólo una titulación, es en cierto modo compatible con el de ACM/IEEE, ya que podemos fácilmente establecer una relación (aunque no unívoca) entre el conjunto de disciplinas del CC y el conjunto de perfiles profesionales propuestos en el libro (enumerados en la Sección 1).

Las materias de tecnología de computadores tienen un mayor peso específico en aquellas disciplinas más relacionadas con la ingeniería de computadores en el sentido más amplio, abarcando tanto el hardware de los computadores como con el desarrollo de sistemas controlados por computadores (por ejemplo los sistemas empujados basados en procesadores integrados, genéricos o específicos).

5. Una propuesta para Tecnología de Computadores

Teniendo en cuenta lo expuesto en las secciones anteriores, es evidente que no se puede concluir en una propuesta "general" de contenidos de tecnología de computadores que sea adoptable por los distintos títulos de Graduado en Ingeniería Informática (de hecho, para ser más rigurosos debiéramos decir "estudios de Grado de la Rama de Ingeniería y Arquitectura relacionados con la Informática"). La propuesta que se expresa a continuación debe verse sólo como la opinión del ponente, para cuya elaboración ha tenido en cuenta la documentación antes analizada, las

directrices de distintas fuentes nacionales y externas (en particular las propuestas de currículos de ACM/IEEE CC2001, CE2004 y CC2005), e inevitablemente su experiencia docente previa e en materias relacionadas con tecnología de computadores.

En esta propuesta consideramos oportuno distinguir entre contenidos formativos básicos de tecnología de computadores, que debieran ser comunes a la titulación o titulaciones de Grado en Ingeniería Informática, y que deben tener un carácter instrumental; y por otra parte un conjunto de materias más específicas, que se enmarcarían en perfiles de la titulación más relacionados con el hardware, o en general con titulaciones más próximas a la *Ingeniería de Computadores*.

5.1. Materia básica: Tecnología de Computadores

Esta materia cubre los fundamentos de los sistemas digitales y de su diseño: elementos y bloques de construcción de sistemas digitales, técnicas y herramientas básicas de ayuda al diseño de sistemas digitales (especialmente de elementos del computador).

Una propuesta de *contenidos* es la siguiente:

Tecnología de Computadores:

- Teoría de la conmutación.
- Electrónica digital.
- Evolución, estado actual, y tendencias de la tecnología de circuitos integrados.
- Sistemas digitales combinacionales y secuenciales: componentes fundamentales, estructura y funcionamiento (análisis).
- Diseño (básico) de sistemas digitales: minimización de redes lógicas, especificación y simplificación de máquinas de estados, diseño modular RT de sistemas digitales.
- Proceso de desarrollo de sistemas digitales. Herramientas de especificación del diseño, simulación y síntesis.

Los dos primeros bloques podrán formar parte de las materias básicas comunes de la rama (dentro de los fundamentos matemáticos y físicos de la informática), y por tanto en la materia

Tecnología de Computadores recibirán el tratamiento mínimo necesario para completar los contenidos que se indican a continuación: El apartado “teoría de la conmutación” debe incidir en los sistemas de numeración y representación binaria, aritmética binaria, álgebra booleana y de conmutación, representación, manipulación y simplificación de funciones de conmutación. Por otra parte, en electrónica digital se debe estudiar la estructura y funcionamiento de circuitos lógicos en distintas tecnologías (o al menos en tecnología CMOS) y los estudiantes debieran tener una idea clara de la abstracción del componente digital en términos de una función lógica y un conjunto de características eléctricas (niveles lógicos, y parámetros de respuesta temporal, conectividad de las salidas y su efecto sobre el comportamiento dinámico). También se estudian los elementos de memoria básicos y las tecnologías de memorias semiconductoras.

En el tercer bloque, la evolución de la tecnología de circuitos integrados se verá ligada a la evolución de los computadores y sistemas electrónicos en general, haciendo especial énfasis en aquellos aspectos clave que han definido la mejora de prestaciones de los mismos (mejoras en velocidad, coste y consumo debido a la integración progresiva de funciones en un mismo chip). La evolución de los microprocesadores y las memorias semiconductoras es el ejemplo más palpable para los estudiantes de Informática. Las mejoras en prestaciones de los computadores podemos aquí ligarlas directamente con los progresos (y con las restricciones) de la tecnología de circuitos integrados. También merece la pena ilustrar con ejemplos concretos la proliferación de los procesadores integrados (empotrados) en productos de consumo habituales.

El siguiente bloque de contenidos se dedica al estudio de los módulos básicos combinacionales y secuenciales para la construcción de sistemas digitales, detallando su estructura y analizando su funcionamiento. En los combinacionales se estudian estructuras específicas para la implementación de funciones aritméticas, decodificadores y selectores de datos, desplazadores en bloque, etc. Y en los secuenciales se estudian básicamente registros serie y paralelo, bancos de registros y contadores.

El bloque dedicado al diseño de sistemas digitales comienza aplicando y ampliando los conceptos introducidos en el módulo “teoría de la

conmutación” sobre simplificación de redes de puertas lógicas, pasando entonces a la introducción (de manera simplificada) de técnicas algorítmicas de simplificación de redes lógicas de dos o más niveles, así como la definición y simplificación de máquinas de estados. Continúa introduciendo las máquinas algorítmicas y su diseño básico, tema que puede concluir con el diseño RT de un procesador elemental.

El último bloque (cuya impartición debiera realizarse en paralelo con los dos anteriores) formaliza la metodología de desarrollo de sistemas digitales, e introduce las herramientas básicas de ayuda al diseño: software de especificación del diseño mediante esquemáticos y lenguajes HDL, analizadores de tiempos, simuladores y sintetizadores lógicos, y sus fundamentos. El uso de un lenguaje estándar HDL es un recurso muy apropiado en este nivel, pero deberá exigirse la comprensión de las construcciones básicas del lenguaje para la definición estructural y funcional de sistemas, dejando su aprendizaje más avanzado para las asignaturas especializadas.

5.2. Materias especializadas

Como hemos indicado anteriormente, las materias específicas van a ser muy distintas de unas universidades a otras, dependiendo de los antecedentes de las mismas. Una opción que puede ser interesante es la siguiente pareja de materias especializadas relacionadas con la tecnología de computadoras:

Arquitecturas VLSI:

Esta materia estudia la metodología y herramientas de diseño de arquitecturas VLSI, tanto arquitecturas de cómputo de propósito general (procesadores de instrucciones) como de propósito específico. Profundiza en el uso de lenguajes HDL y otras herramientas de especificación de alto nivel de sistemas digitales, y en los fundamentos y uso de herramientas software de síntesis automática. Si bien estos conceptos pueden relacionarse con el desarrollo de arquitecturas VLSI en chips dedicados, la orientación será fundamentalmente hacia implementaciones en FPGA.

Aspectos más avanzados como el codiseño hardware-software y las plataformas de diseño para FPGA complejas con procesadores integrados pueden ser motivo de estudio en programas de Master.

Sistemas basados en Microcontroladores:

Esta materia se centra en el diseño de sistemas empujados con microcontroladores. Incluye el estudio de la arquitectura de los microcontroladores, elementos de entrada/salida, y buses específicos para sistemas microcontrolados; metodología y herramientas de desarrollo. Se incide en aspectos de diseño del software y del hardware: programación del microcontrolador (en C), gestión de múltiples interrupciones hardware, diseño de aplicaciones de bajo consumo, criterios de selección del microcontrolador, aprovechamiento de recursos del procesador y de los módulos de E/S integrados, circuitos de interfaz con sensores y actuadores, etc.

5.3. Competencias

Competencias que debe adquirir el estudiante en relación con la materia básica Tecnología de Computadores:

- 1.- *Conocimientos* para el estudio del hardware de los computadores, abarcando los aspectos tecnológicos necesarios para las materias de estructura y arquitectura de computadores, así como otros conocimientos más especializados de ingeniería de computadores y diseño de hardware específico.
- 2.- Capacidades de *análisis y de síntesis*: ser capaz de analizar el comportamiento de un sistema digital, visto en términos de componentes electrónicos que intercambian señales, y tener nociones de diseño de sistemas digitales, y de las funciones de coste básicas utilizadas en los procesos de síntesis automática de circuitos digitales
- 3.- Capacidad de *evaluación y toma de decisiones*: valoración de requisitos y parámetros de diseño, compromisos de diseño, y elección entre alternativas de implementación de sistemas digitales

4.- Razonamiento y asociación de ideas: aprender a *relacionar conceptos* de la tecnología con la arquitectura del computador y con sus prestaciones de velocidad, coste y consumo; la repercusión de la tecnología sobre las comunicaciones dentro y fuera del procesador: ancho de banda de comunicaciones procesadores-memorias, elección de buses serie/paralelo, comunicación síncrona/asíncrona, etc.

5.- Capacidad de *abstracción*: aprender a abstraer la función a partir de una descripción estructural del sistema. Y capacidad de *especificación* de descripciones estructurales de bloques interconectados, a partir de la definición de la función.

6.- Aprender a *buscar e interpretar la información técnica* de componentes digitales (interpretar hojas características de componentes sencillos, su función y el conjunto de parámetros eléctricos y temporales fundamentales)

7.- Conocimiento y utilización de *herramientas* básicas de ayuda al *diseño* de sistemas digitales: (software para especificación estructural y funcional, simuladores, y algún ejemplo sencillo de sintetizador).

Con las materias de TC más especializadas planteadas anteriormente se persigue además que el estudiante aprenda:

8.- *Metodologías de diseño* y uso más avanzado de *herramientas* de ayuda al diseño más complejas. Aprendizaje y uso de HDL para *especificación, simulación y síntesis*.

9.- *Gestión de información técnica* de herramientas de ayuda al diseño y de componentes integrados más complejos (microcontroladores, memorias, FPGA, circuitos adaptadores, sensores y actuadores)

10.- Capacidad para el *planteamiento y desarrollo de proyectos* que impliquen soluciones (totales o parciales) en hardware específico, y adquisición de destreza en la resolución de problemas y aplicaciones prácticas de carácter *transversal*.

11.- Elaboración de *documentación técnica*, y adquisición de habilidades de *comunicación y exposición* de resultados de trabajos de la especialidad.

Como ocurre en la actualidad, frente a los estudiantes de otras especialidades afines de las TIC, los estudiantes de Ingeniería Informática adquieren y disponen de capacidades propias muy apreciables para el desarrollo de aplicaciones en hardware. Con los complementos formativos adecuados, sus capacidades para el modelado, planteamiento de algoritmos y para la programación software se pueden reconducir con facilidad al desarrollo de proyectos complejos que requieren soluciones eficientes en hardware específico (por ejemplo, sistemas para procesamiento de señales, incluyendo audio y video en tiempo real, control automático, robótica, comunicaciones, etc.)

5.4. Técnicas docentes

Como principios generales, es deseable propiciar en todo momento:

- La *motivación* del estudiante por el aprendizaje de la materia. Esto es especialmente necesario en las materias básicas de tecnología de computadores, alentando el trabajo del estudiante mediante la presentación de ejemplos prácticos de aplicación. El estudiante de Ingeniería Informática debe ver las materias relacionadas con el hardware como materias propias necesarias para su formación, a la vez que asequibles (e incluso atractivas).

- El *apoyo* al estudiante en el proceso de aprendizaje. El objetivo de enseñar es que los estudiantes aprendan, y esto requiere un esfuerzo constante del profesor que va más allá de preparar e impartir sus clases y atender un horario de tutorías. El profesor debe *trabajar con el estudiante*, también en el laboratorio, no resolviendo los problemas que se le planteen, sino guiándole adecuadamente para que los resuelva con éxito y aprovechamiento. Por supuesto hay que saber *“escuchar”* al estudiante, conocer sus nuevas inquietudes y formas de trabajar, y *adaptar* en consonancia nuestra enseñanza. El profesor también debe aprender del estudiante.

- Potenciar la *iniciativa y el trabajo autónomo* de los estudiantes, tanto de forma individual como en grupo, implicándoles (especialmente en

aquellas materias más avanzadas) en el propio desarrollo de las asignaturas.

Podemos plantear las siguientes actividades docentes:

- Clases de *teoría* y de *problemas*, combinando la exposición de nuevos conceptos con el planteamiento y resolución de ejercicios. También es conveniente la presentación y discusión de proyectos de I+D relacionados que se estén desarrollando, y de otros casos prácticos de aplicación que, a modo de seminarios, contribuyen a la adquisición de competencias transversales y a la motivación del estudiante por la materia.

Durante el curso, es importante que el estudiante conozca en todo momento el punto en que se encuentra dentro de la materia, así como su importancia relativa dentro de la misma y en el conjunto de la disciplina. Debemos pues enfatizar los aspectos clave, sobre los que deberemos reincidir a lo largo del curso. Por ejemplo, es importante que el estudiante perciba la estructura de un sistema digital (de cualquier complejidad) como un conjunto de islas de lógica combinacional seguidas de registros, y que entienda que la isla combinacional de mayor retardo es la que limita la frecuencia máxima de funcionamiento del sistema. Esta abstracción es de gran ayuda para comprender la importancia de segmentar el funcionamiento del sistema y de otras formas de paralelismo a fin de mejorar las prestaciones.

Cuando se estudian técnicas de simplificación de sistemas digitales, es importante desde el principio enfocarlas como problemas de optimización, en los que se conozcan las funciones de coste típicas, dependientes del nivel de abstracción en el que estemos trabajando. Este enfoque se asimila mejor por parte de los estudiantes de Informática, y facilita su introducción desde una perspectiva algorítmica que podemos ligar con el funcionamiento de los programas de síntesis automática comerciales. Igualmente, cuando se use un lenguaje de descripción de hardware para especificar funcionalmente un sistema, el estudiante debe ser consciente de la arquitectura concreta del hardware que se está definiendo, o la que van a inferir las herramientas de síntesis.

- *Prácticas de laboratorio.*

El trabajo práctico de los estudiantes en las materias que nos ocupan es esencial, y deberá asignársele el suficiente peso específico en las asignaturas.

Las prácticas de laboratorio pueden combinar sesiones guiadas con otras en las que el estudiante tome la iniciativa, aportando soluciones a problemas previamente planteados. La complejidad de estos problemas debe ir incrementándose progresivamente a medida que se avanza en la materia, y puede concluir con un trabajo de complejidad moderada que combine los desarrollos parciales trabajados durante el resto de las prácticas.

La materia exige el uso de herramientas software para especificación, simulación y síntesis de sistemas digitales.

Es importante elegir software de dominio público, o para el que existan versiones educacionales de bajo coste (o nulo) y que los estudiantes puedan disponer de él para su trabajo fuera del laboratorio. Siempre es preferible utilizar un software más sencillo que el estudiante pueda instalar y usar en su computador, que uno más potente pero complejo y de uso restringido.

También es fundamental experimentar con el hardware, y por tanto se requieren tarjetas o equipos para probar los diseños en los circuitos reales. Este trabajo tiene dos objetivos: en primer lugar verificar el funcionamiento de un diseño, que puede haber sido previamente simulado, utilizando señales y circuitos reales, aprendiendo a detectar y resolver problemas de implementación; y en segundo lugar, apreciar las ventajas de las soluciones hardware específicas, por ejemplo en diseños más complejos en los que las prestaciones deseadas sólo se consiguen gracias al paralelismo inherente a los circuitos, o en aquellas situaciones en las que es difícil (o imposible) simular el sistema interactuando con el entorno (por ejemplo un robot móvil cuyo movimiento es gobernado por un microcontrolador, o una FPGA procesando imágenes capturadas de una cámara).

Nuevamente, al igual que para el software, es interesante emplear entrenadores o plataformas de desarrollo de hardware que sean asequibles, robustas y fáciles de usar; y preferiblemente abiertas a la conexión de elementos de entrada y salida “ilustrativos” que permitan diversificar el número de experiencias a realizar.

- Trabajos prácticos (*miniproyectos*)

Principalmente para las materias más especializadas, es interesante proponer trabajos que tengan una complejidad moderada, y que los estudiantes (preferiblemente en grupos) planteen y desarrollen como proyectos. Es interesante en este caso crear un ambiente de trabajo cooperativo al la vez que competitivo, que estos “miniproyectos” sean atractivos y variados, y que exijan la iniciativa de los estudiantes.

5.5. Evaluación

La evaluación rigurosa de las competencias adquiridas por los estudiantes es una de las tareas más difíciles de realizar; especialmente de aquellas capacidades de carácter transversal más genérico o las menos específicas de la materia. A continuación indicamos una relación (ampliable) de sugerencias y elementos de evaluación:

- Para evaluar la adquisición de conocimientos y la destreza en el planteamiento y resolución de problemas son adecuadas las pruebas escritas con cuestiones teóricas y ejercicios prácticos. Es conveniente valorar que las respuestas sean concretas y que les exijan relacionar conceptos adquiridos en distintas partes de la materia, así como otros transversales.

- Como hemos indicado con anterioridad, es importante valorar el trabajo práctico. El peso específico del trabajo práctico en estas materias debe traducirse en un porcentaje importante de la calificación de la asignatura. Para ello es necesario establecer mecanismos que permitan una evaluación objetiva de dicho trabajo. El alumno debe ser consciente de ello, y de que se valorará su trabajo individualmente (aunque se haya desarrollado en grupo), por ejemplo mediante un seguimiento y evaluación continua en el laboratorio, y mediante la presentación y defensa individual, junto con una memoria de prácticas elaborada individualmente.

- Cuando se desarrollen miniproyectos, es interesante organizar (y evaluar) la presentación pública del trabajo, a la que deben asistir todos los estudiantes del curso. A cada presentación le sigue una discusión y una valoración por parte de los

demás compañeros. En estas evaluaciones conviene tener en cuenta no sólo los resultados finales del proyecto, sino también otros aspectos como la planificación del mismo, la organización del trabajo en equipo, la originalidad, la complejidad, las dificultades encontradas y soluciones aportadas, y la elaboración de la presentación final y su exposición. Esta forma de evaluación cruzada tiene claramente un carácter formativo (cada estudiante o grupo de trabajo conoce los trabajos de los demás), pero a la vez potencia la capacidad de los estudiantes para emitir juicios críticos.

- En ciertas materias en las que se puedan establecer competiciones entre grupos de estudiantes (por ejemplo competiciones de robots controlados por chips FPGA o por microcontroladores), los resultados de la competición y su valoración por parte de los propios estudiantes constituyen un elemento más de evaluación, que suele ser bastante efectivo, ya que los estudiantes se esfuerzan especialmente por mejorar su diseño y ganar la competición.

5.6. Necesidades

Una buena parte de las actividades, planteamientos y objetivos de las secciones anteriores son inviables sin los recursos materiales y personales necesarios.

Los recursos materiales (necesidades de laboratorio con ordenadores, licencias de software, entrenadores/tarjetas de desarrollo de hardware, etc) son obtenibles por diversas vías.

Mucho más importante son los recursos personales necesarios: no sólo para la impartición de clases y preparación de material docente sino también para la tutela individualizada (o por grupos pequeños) de los estudiantes, el seguimiento continuado e individualizado de sus trabajos, la planificación de actividades formativas adicionales, etc. La adaptación de los estudios universitarios al EEES es imposible con un tamaño de los grupos de estudiantes parecido al que tenemos en la actualidad, sobre todo en las asignaturas obligatorias y de primeros cursos. Se requieren cambios importantes en la organización de la docencia universitaria, estableciendo medidas adecuadas de la carga de trabajo de los profesores.

En materias con una componente práctica importante como las que tratamos, se necesita adquirir, probar, instalar, poner a punto y mantener (con actualizaciones demasiado frecuentes) los recursos de laboratorio. También se requiere personal para esto.

Para terminar (y tal vez sea el aspecto más necesario en este momento, cuando se demandan más esfuerzos para transformar y mejorar la docencia) se requiere un reconocimiento de la labor docente del profesor universitario. Los incentivos, el prestigio y la promoción del profesorado universitario se consiguen y se valoran fundamentalmente por la dedicación a la investigación (que viene a ser por la publicación de artículos). Lamentablemente el esfuerzo y la dedicación a la docencia están “penalizados” por el sistema actual, y también esto requiere un cambio importante...