

## *Título*

---

### **Plan de estudios para Arquitectura de Computadores**

## *Autores*

---

**Jesús Bernal Bermúdez** (e-mail: [jbernal@eui.upm.es](mailto:jbernal@eui.upm.es))

**Jesús Bobadilla Sancho** (e-mail: [jbobi@eui.upm.es](mailto:jbobi@eui.upm.es))

**Abraham Gutiérrez Rodríguez** (e-mail: [abraham@eui.upm.es](mailto:abraham@eui.upm.es))

**Jorge Tejedor Cerbel** (e-mail: [jtejedor@eui.upm.es](mailto:jtejedor@eui.upm.es))

**Víctor Martínez Hernando** (e-mail: [victormh@eui.upm.es](mailto:victormh@eui.upm.es))

Profesores de la Universidad Politécnica de Madrid.

Escuela Universitaria de Informática

Ctra. De Valencia Km. 7

28031 Madrid, España.

## *Resumen*

---

La programación de la asignatura de Arquitectura de Computadores es de una especial relevancia debido a su carácter "central" en los planes de estudio de informática.

En este artículo se diseña un temario que engloba los contenidos centrales del área, es decir, se centra en la Arquitectura y Organización de la CPU, los sistemas de E/S, los Buses y los sistemas de Memoria. También incluye una introducción necesaria a las Arquitecturas Avanzadas. En la programación de esta asignatura se prima la completitud sobre la profundidad y el enfoque analítico sobre el sintético.

Se propone un modelo de prácticas basadas en un simulador de un sistema MC68000 que consolidan los conocimientos de teoría mediante la incorporación de este caso de estudio concreto

## *Palabras Clave*

---

Arquitectura de Computadores, Estructura de ordenadores, Plan de estudios

## **OBJETIVOS**

- Proporcionar unos conocimientos amplios en el área de la organización y arquitectura de los computadores, tanto a nivel teórico como en su realización práctica con un procesador y computador concretos.
- Impartir un programa completo, profundo y coherente, asegurándose de que se llega a un adecuado nivel de conocimientos de cada materia y de las relaciones existentes entre ellas.
- Otorgar una especial importancia al enfoque analítico (abstracto) en la teoría, combinándolo con el enfoque de diseño suministrado en las prácticas; consiguiendo de esta manera facilitar la comprensión por parte del alumno de las innovaciones futuras que se produzcan en el área.
- Facilitar la continuidad del aprendizaje, enlazando adecuadamente los conocimientos de arquitectura de computadores con los impartidos previamente. También se persigue que esta asignatura ofrezca una base de conocimientos adecuados y suficientes para que el alumno pueda afrontar satisfactoriamente asignaturas posteriores relacionadas con la materia.
- Motivar al alumno en el aprendizaje de la materia, impartiendo conceptos actuales, utilizando arquitecturas conocidas y cercanas a los estudiantes, realizando prácticas llamativas y bien documentadas y utilizando recursos didácticos modernos.
- Hacer uso de unas prácticas que los alumnos puedan utilizar, ampliar y experimentar fuera del laboratorio de la asignatura y que les pueda ayudar de forma efectiva a alcanzar una mejor comprensión de los conceptos impartidos en la teoría.

## **PROGRAMA DE TEORIA**

### **1 Introducción (2 horas)**

- 1.0 Estructura y secuenciamiento del curso
- 1.1 Arquitectura de un computador. Visión básica
- 1.2 Organización de un computador
- 1.3 Evolución de los computadores

### **2 Arquitectura de la CPU (6 horas)**

- 2.1 Consideraciones de diseño
  - 2.1.1 Necesidad del nivel ISA y su utilización
  - 2.1.2 Aspectos de diseño de la CPU relacionados con la memoria
  - 2.1.3 Estructura interna de la CPU visible al usuario
  - 2.1.4 Diseño RISC frente a diseño CISC
- 2.2 Tipos de datos y modos de direccionamiento
  - 2.2.1 Tipos de datos. Naturaleza, tamaño y prestaciones
  - 2.2.2 Modos de direccionamiento más comunes
  - 2.2.3 Modos de direccionamiento empleados en los procesadores RISC
- 2.3 Tipos de instrucciones
  - 2.3.1 Instrucciones estructuradas por funcionalidad y clasificadas por número de operandos
  - 2.3.2 Instrucciones de salto
  - 2.3.3 Filosofía RISC en el diseño del juego de instrucciones
- 2.4 Flujo de control no explícito
  - 2.4.1 Necesidad de la existencia de un flujo de control no explícito
  - 2.4.2 Corrutinas, excepciones e interrupciones
- 2.5 Diferenciación RISC/CISC a nivel arquitectural. Resumen
  - 2.5.1 Diseño arquitectural. Estadísticas más representativas
  - 2.5.2 Tipos de datos y modos de direccionamiento
  - 2.5.3 Tipos de instrucciones

### **3 Organización de la CPU (6 horas)**

- 3.1 Estructura interna de la CPU
  - 3.1.1 Registros no visibles al usuario

### 3.1.2 Repaso del funcionamiento interno de la CPU

## El ciclo de instrucción

### Pipeline de instrucciones

#### 3.3.1 Conceptos

#### 3.3.2 Mecanismos de aceleración

#### 3.3.3 Planificación de instrucciones

#### 3.3.4 Técnicas de salto

### 3.4 Organización interna de una CPU RISC

#### 3.4.1 Simplificación de la ruta de datos

#### 3.4.2 Eliminación del control microprogramado

#### 3.4.3 Regularidad en el pipeline de instrucciones

#### 3.4.4 Utilización de los registros

#### 3.4.5 Alternativas tecnológicas y de organización

### 3.5 Ejemplos: Organización interna e interfaz hardware.

#### 3.5.1 Motorola 68060

#### 3.5.2 Intel Pentium IV

#### 3.5.3 IBM PowerPC 750

## 4 Entrada/Salida (4 horas)

### 4.1 Modelos de organización de la Entrada/Salida

### 4.2 Entrada/Salida programada

### 4.3 Entrada/Salida por interrupción

### 4.4 Acceso directo a memoria (DMA)

## Canales y procesadores de Entrada/Salida

## 5 Buses (3 horas)

### 5.1 Composición y estructura

### 5.2 Diseño de buses

#### 5.2.1 Dimensionamiento

#### 5.2.2 Sincronización

#### 5.2.3 Arbitraje

## Buses jerárquicos

## Esquemas de conexión a nivel de placa base

### 5.4.1 Interfaz hardware de la E/S y la memoria principal. Repaso

### 5.4.2 Conexión entre CPU, E/S y memoria principal

### 5.4.3 Análisis de cronogramas representativos

## 6 Memoria (5 horas)

### 6.1 Jerarquía de memorias

### 6.2 Tipos de memoria principal

### 6.3 Memoria caché

#### 6.3.1 Diseño y principios de funcionamiento

#### 6.3.2 Traducción de direcciones basada en organizaciones: directa, asociativa y asociativa por conjuntos

#### 6.3.3 Algoritmos de reemplazamiento y políticas de escritura

#### 6.3.4 Incidencia en el aumento de prestaciones de la CPU

#### 6.3.5 Relación registros/memoria caché en las CPU RISC

## Soporte físico al sistema operativo

### 6.4.1 El hardware de la MMU

### 6.6.2 La TLB

## 7 Introducción a las arquitecturas avanzadas (3 horas)

### 7.1 Arquitecturas paralelas

#### 7.1.1 Características y conceptos básicos

#### 7.1.2 Mecanismos de funcionamiento y organización interna

### 7.2 Clasificación de arquitecturas paralelas

Computadores MIMD y multiprocesadores

7.3.1 Multiprocesadores con memoria compartida.

7.3.2 Multicomputadores con memoria distribuida.

Computadores SIMD y Multivectores

Modelos PRAM.

## **TEMAS IMPARTIDOS EN CLASES DE PRÁCTICAS**

En este proyecto docente, la asignatura ha sido diseñada de manera que no sólo la teoría fundamenta a las prácticas, sino que también ocurre lo contrario. En el transcurso de las prácticas tutorizadas se impartirán conocimientos concretos de la arquitectura de la familia MOTOROLA 680x0 y sus controladores asociados, lo que servirá a los alumnos para fijar los conceptos generales y abstractos impartidos en las clases de teoría.

El temario que servirá de referencia para unificar las explicaciones de los profesores durante el transcurso de las prácticas es el siguiente:

### **1 El nivel arquitectural del MC 68000**

- 1.1 Consideraciones de diseño
  - 1.1.1 Modelo de memoria
  - 1.1.2 Estructura interna de la CPU visible al usuario
- 1.2 Tipos de datos y modos de direccionamiento
  - 1.2.1 Tipos de datos básicos
  - 1.2.2 Modos de direccionamiento del MC68000
- 1.3 Tipos de instrucciones
  - 1.3.1 De movimiento de datos
  - 1.3.2 Aritméticas y lógicas
  - 1.3.3 De control y flujo
  - 1.3.4 Instrucciones de uso específico
- 1.4 Flujo de control no explícito
  - 1.4.1 Habilidad y configuración de las interrupciones
  - 1.4.2 Rutina de tratamiento de interrupciones
  - 1.4.3 La tabla de vectores de interrupción

### **2 Programación de controladores**

- 2.1 El controlador de líneas serie DUART (MC68681)
- 2.2 El controlador del TIMER (MC68230)

## **PRÁCTICAS PROPUESTAS**

Las prácticas propuestas en esta asignatura presentan las siguientes características generales: el Número de créditos son 3, existe un laboratorio propio autorizado con profesores y además, se puede en el Centro de Cálculo. Todas las prácticas de esta asignatura están diseñadas para poder realizarse en 4 horas de laboratorio, requiriéndose además una preparación previa específica del alumno a partir de la cuarta práctica. Las prácticas se realizarán en grupos de dos alumnos preferiblemente, admitiendo grupos formados por un solo alumno siempre que no sea posible asignarle una pareja de forma adecuada.

Las prácticas de la asignatura han sido diseñadas con una doble finalidad:

1. Consolidar los conocimientos de teoría mediante la incorporación de un caso de estudio concreto: la familia 680x0 de Motorola y sus controladores asociados.
2. Dotar a los alumnos de la experiencia necesaria en programación de procesadores y controladores, mostrando a sí mismo el funcionamiento interno de los mismos.

Ambos objetivos se pretenden alcanzar mediante la consecución de los siguientes sub-objetivos:

- Comprensión por parte de los alumnos de los conceptos teóricos explicados en las clases de prácticas tutorizadas, referentes a los procesadores y controladores del 680x0 de Motorola más comunes.
- Utilización de herramientas de simulación que permitan visualizar gráficamente el comportamiento interno del procesador y los controladores seleccionados.

- Uso de un modelo simplificado de programación de procesadores y controladores, basado en un entorno amigable que sirva de toma de contacto con la materia impartida en la asignatura.
- Realización de practicas de consolidación utilizando sistemas reales basados en la arquitectura estudiada y empleando herramientas de desarrollo profesionales

### **Lista de prácticas**

La siguiente tabla muestra los títulos de las prácticas propuestas y su duración estimada.

- Toma de contacto con el simulador BSVC: 4 h.
- El nivel arquitectural del MC68000: 4 h.
- Programación en ensamblador: 4 h.
- E/S por polling. El controlador MC68681:4 h.
- E/S por interrupciones. MC68681, MC68230 e interrupciones software: 4 h.

### **Estructura del laboratorio**

El sistema propuesto para realizar las prácticas consiste en dos servidores replicados que se encargan de gestionar las cuentas de los alumnos al igual que dar soporte al acceso a la ejecución del simulador BSVC. Los alumnos pueden acceder a sus cuentas y al entorno del simulador tanto desde el Laboratorio (mediante simulación de sesiones X) o bien desde el Centro de Cálculo de la EUI (mediante X Terminales remotas o simulación de sesiones X).

Todo el material necesario para la realización de las prácticas se encuentra disponible en la página web de la asignatura, al igual que las instrucciones y ficheros básicos de configuración necesarios para una correcta instalación del entorno de prácticas en los equipos personales de los alumnos.

### **Otros elementos necesarios**

Las prácticas propuestas utilizan el simulador BSVC del MC6000 al igual que la práctica que actualmente se realiza en la asignatura. Este simulador proporciona un magnífico soporte educativo para explicar el funcionamiento simplificado de un computador basado en la familia 680x0 de Motorola y sus controladores más comunes. Permite visualizar y monitorizar la ejecución de las instrucciones a nivel arquitectural del procesador.

Este simulador está siendo utilizado en distintos centros con muy buenos resultados. Una ventaja práctica de gran importancia es su disponibilidad como software de libre distribución para ser utilizado en actividades de enseñanza, tanto en laboratorios y centros de cálculo como de forma individual por parte de profesores y alumnos.

BSVC es una plataforma para la simulación de procesadores, memoria y controladores de periféricos, desarrollada en C++ y Tcl/Tk. BSVC fue desarrollado por Bradford W. Mott en la Universidad del Estado de Carolina del Norte para la realización de prácticas de sistemas de entrada/salida y constituyó su proyecto fin de carrera. Actualmente, BSVC simula el microprocesador MC68000, el controlador de líneas series DUART MC68681, el TIMER MC68230 y memoria RAM. Por lo tanto, permite construir computadores virtuales con procesador, memoria y unidades periféricas.

BSVC se compila y ejecuta sobre sistemas operativos Unix, con compilador de C++ gcc 2.7.2 e interfaz gráfico Tcl 7.5 y Tk 4.1. Existe una versión para Windows95, pero no incorpora el simulador de la DUART MC68681.

## **LOS PRINCIPIOS METODOLÓGICOS**

Los principios del método se fundan en la naturaleza del alumno. Se pueden resumir en los siguientes aspectos:

- Los procedimientos del método didáctico deben adaptarse al grado de desarrollo, capacidades y aptitudes del alumno

- Deben ayudar a satisfacer las necesidades inherentes a esas capacidades y aptitudes
- Deben evolucionar progresiva y gradualmente, siguiendo el ritmo del desarrollo del alumno
- Deben adaptarse a la necesidad del alumno de hacer para pensar
- Deben ayudar a organizar normas de vida
- El método didáctico debe iniciar el conocimiento sensible en la intuición y hacer de la observación el eje de todos los procedimientos del aprendizaje
- Debe favorecer el aprendizaje localizado
- Los procedimientos del método didáctico deben ayudar a la socialización
- El método tiene que tener en cuenta los intereses vitales del estudiante, atendiendo a su grado de capacidad e inteligencia
- Debe ajustarse al medio educacional en que se aplique y a la naturaleza de los alumnos
- Deberá ajustarse al sentido y a los fines de la educación
- Debe orientar al alumno hacia los conocimientos básicos indispensables del aprendizaje
- Debe proporcionar al profesor la forma de atender a las diferencias individuales de los alumnos
- Debe economizar esfuerzos de profesores y alumnos durante el proceso de aprendizaje
- Debe contribuir a la mejora de la labor escolar del profesor, en forma práctica y activa
- Debe comprender todas las actividades y experiencias proporcionadas por la comunidad
- Debe ofrecer oportunidad al desarrollo de las ideas democráticas en el centro de enseñanza
- Debe contribuir al desarrollo de nuevos patrones de conducta en los alumnos
- Debe acoplarse a los fines, propósitos, objetivos y funciones de la educación, en el nivel del aprendizaje que se aplica
- Debe atender a los intereses vocacionales y al desarrollo de las aptitudes y personalidad de los alumnos
- Debe ser integral y tener un carácter funcional
- Debe ofrecer la oportunidad de integración de materias del aprendizaje en torno a un eje, en forma de unidad
- El método debe ser aplicado por personal técnico competente

Los contenidos son un principio fundamental en las metodologías, no son los mismos los enfoques en las ciencias sociales que en las matemáticas. Tienen objetos de estudio diferentes, métodos y técnicas de investigación y procesos de validación distintos. Los valores y actitudes que se pretendan desarrollar también juegan en los aspectos metodológicos. Si la cooperación es un valor importante, se generarán actitudes colaboradoras entre todos los miembros del grupo. La preparación científica y pedagógica del docente, su capacitación, su experiencia y su estructura personal constituyen otro de los parámetros que juegan en lo metodológico. De acuerdo con los factores anteriores, se aplicarán los métodos o estrategias didácticas. El contexto, realidad socioeconómica, histórica, política, etc., brindan orientación al profesor acerca de los medios, recursos y técnicas que podrá o no instrumentar.

### **Medios, técnicas y procedimientos**

El concepto de método didáctico o de estrategia didáctica, en la actualidad, conjuga al conjunto de modos o enfoques con que el docente orienta la conducción del aprendizaje de los alumnos. Existen ciertos principios que conviene considerar:

- Principio de adecuación: adecuar los saberes a las capacidades del alumno. No dejar de lado los contenidos mínimos comunes
- Principio de orientación: permite al alumno una guía de aprendizaje

- Principio de ordenación: la progresión sigue un orden lógico y psicológico
- Principio de calidad: asegura al alumno un aprendizaje de calidad con las técnicas, procedimientos o recursos de que se disponga

Las técnicas de enseñanza-aprendizaje constituyen aspectos parciales del método. Se concretan en el desarrollo de las unidades de aprendizaje o en la clase. Se puede decir que el método se hace efectivo a través de las técnicas. El método es más amplio que la técnica. El procedimiento didáctico es un aspecto de la técnica didáctica. En una técnica puede haber varios procedimientos. La técnica es más amplia que el procedimiento. Principios:

- Principio de dosificación: el alumno aprende por pequeños pasos
- Principio de actividad: el alumno responde a la dosis de información brindada
- Principio de evaluación: el alumno tiene una respuesta inmediata de lo que se evalúa
- Principio del propio ritmo: el estudiante sigue su ritmo de acuerdo con el tiempo, la motivación, la voluntad
- Principio de indicios: en el proceso el alumno tiene pistas para no equivocarse
- Principio de redundancia: lo nuevo se asocia con lo que ya se conoce y se reitera lo fundamental para que se fije
- Principio del efecto: al tener inmediata respuesta positiva, se genera un circuito motivacional que provoca disposición para seguir aprendiendo
- Principio de registro: el alumno va teniendo descripción concreta de sus progresos y de sus errores. Esto genera rectificación de los errores y facilita el progreso en sus aprendizajes

Los métodos de grupo favorecen:

- El desarrollo de la cooperación antes que la competitividad. En las metodologías de grupo los alumnos tienden ayudarse y cooperar entre ellos.
- Desarrolla sentimientos de grupo más que nociones y sentimientos egoístas
- Estimula el intercambio de experiencias, de ideas, de pensamientos, etc.
- Facilita la adquisición de actitudes de tolerancia y respeto a los demás
- Permite la adquisición de actitudes de apertura y comunicación
- Contribuye a vencer inhibiciones o temores que pudiera tener el alumno
- Facilita la resolución de situaciones problemáticas, porque la riqueza del grupo provee más variedad de respuestas que un individuo
- Promueve el desarrollo de la creatividad y de la iniciativa
- Desarrolla en el alumno la posibilidad de diálogo, lo cual le permite ver otros puntos de vista

La exposición didáctica tiene como finalidad que los alumnos adquieran las nociones fundamentales para una comprensión inicial. Puede asumir las características de una conferencia, que puede ser utilizada propiamente en los niveles superiores y universitarios, o de desarrollarse como una exposición dialogada. El método expositivo requiere preparación en cuanto al asunto o tema a desarrollar, así como capacidad de expresión personal para captar la atención del auditorio.

En la exposición se debe plantear claramente lo fundamental, discriminar lo importante, lo básico. La organización del tema tiene que responder a los principios del aprendizaje significativo. El vocabulario debe adecuarse a las características del auditorio. El lenguaje tiene que ser de un estilo claro, directo.

La exposición debería contemplar:

- Una introducción que despierte el interés
- Desarrollo del tema partiendo de lo global
- Tener en cuenta los aprendizajes previos del grupo

- Plantear ejercicios, interrogaciones o pequeñas discusiones cuando sea posible
- Cerrar con una síntesis o conclusión y si es posible con la participación del grupo

### **Los recursos didácticos**

Los recursos didácticos (también denominados medios didácticos) tienen una función mediadora entre la realidad y el conocimiento de dicha realidad. De acuerdo a como sea esa realidad y la naturaleza del aprendizaje que se persigue, se podría considerar materiales más o menos adecuados. Un libro, por ejemplo, puede servir para transmitir mensajes abstractos, mientras que un vídeo puede transmitir una situación dinámica.

El manejo de los recursos didácticos depende de la metodología con que se aplican y las características del grupo y del profesor. El empleo apropiado de los recursos puede facilitar las actividades de los alumnos.

Los recursos didácticos más que ilustrar o mostrar, le tienen que permitir al alumno investigar, descubrir, construir, trabajar. Tienen que tener un aspecto funcional y dinámico.

Los recursos didácticos deberían considerar:

- Los contenidos
- El contexto
- El alumno
- El propósito del recurso
- La capacitación o pericia del profesor en el manejo del recurso y la valoración que realiza de cada uno de ellos

Los recursos didácticos pueden ser de distinta índole. Una posible clasificación de los recursos didácticos puede ser:

- Material impreso: libros, revistas, periódicos, fichas, etc.
- Material audiovisual: láminas, vídeos, grabaciones, televisión, etc.
- Material de ejecución: destinado a producir algo, una redacción una pintura, etc.
- Material tridimensional: algo real

## **PLANES DE ESTUDIO EN UNIVERSIDADES EXTRANJERAS CON PRESTIGIO EN EL ÁREA DE INFORMÁTICA**

En este capítulo se presenta información relativa a los planes de estudio de dos de las Universidades extranjeras más prestigiosas en el área de Informática.

Cada una de estas universidades presenta una valoración diferente dependiendo del área concreta que se seleccione, por ejemplo Berkeley en Arquitectura de Computadores y el MIT en Ingenierías clásicas.

Las dos universidades seleccionadas presentan unos planes de estudio “tipo americano”, muy diferente a los enfoques que utilizamos en España. Existen muchas diferencias en cuanto a la organización de los estudios, estructura de los cursos, enfoque de la enseñanza, modelo de las clases, forma de evaluar, etc.

El concepto de curso académico no es fundamental en las universidades estudiadas, en su lugar cada año existen tres periodos (semestres): spring (primavera), summer (verano) y fall (otoño). En cada uno de estos periodos se ofertan una gran cantidad de subjects (materias) equivalentes a nuestras asignaturas. Una buena cantidad de estas asignaturas se repiten en dos o más semestres al año, permitiendo a los alumnos no solo escoger sus asignaturas preferidas, sino el periodo en el que más les conviene cursarlas.

El tipo de docencia impartida varía mucho respecto a la de la UPM. Es más personalizada, con participación activa de los estudiantes (¡obligatoria!) en el transcurso de la clase y una gran cantidad de trabajo semanal para hacer en casa (homework).

La forma de evaluar sorprende mucho a la mayor parte de los europeos, en algunos casos con exámenes sin vigilancia o incluso para traer resueltos “al día siguiente”. A pesar de ello, los casos de copia son muy



extraños debido a la gran competitividad que existe entre los alumnos para conseguir la ansiada “A” (máxima calificación), el conocimiento personal que los profesores tienen de sus alumnos y las fortísimas sanciones que se aplican.

También resulta interesante comentar el hecho de que la participación de los alumnos en las clases, además de ser obligatoria, a menudo tiene un gran peso en la nota final asignada, lo que aporta una buena visión del enfoque de enseñanza que se utiliza en estas universidades.

Comprender los enfoques de enseñanza y evaluación es interesante para poder comparar los planes de estudio de las distintas universidades. En los siguientes apartados de este capítulo se presentan las materias impartidas en las universidades seleccionadas. La información proporcionada en cada materia no será tan detallada como la suministrada en el apartado anterior, restringiéndonos a unos objetivos generales en lugar de un temario detallado.

### **Universidad de California en Berkeley**

Los programas de informática ofertados incluyen materias tales como análisis de algoritmos, inteligencia artificial, teoría de la computación, arquitectura de computadores, gráficos por ordenador, bases de datos, lenguajes formales, teoría de autómatas, análisis numérico, programación paralela, análisis de prestaciones, lenguajes de programación, compiladores, sistemas operativos, robótica, visión por ordenador, ingeniería del software, etc.

Entre los diferentes programas tenemos el programa de informática, especializado en arquitectura de computadores, diseño lógico, sistemas operativos, lenguajes y programación de sistemas, ingeniería del software, circuitos y dispositivos digitales, diseño y análisis de algoritmos, inteligencia artificial, bases de datos, gráficos por computador, etc.

Los estudiantes también deben cursar un cierto número de materias complementarias relacionadas con ingeniería, física, ciencias de la salud, matemáticas y estadística, así mismo existen unos pocos cursos obligatorios en cada programa.

Los programas de informática se imparten conjuntamente por los departamentos de informática y telecomunicaciones de esta universidad. Los cursos relacionados con el área de Arquitectura y tecnología de Computadores son los siguientes:

**Estructura de computadores (3 unidades).** Organización interna y funcionamiento de los computadores. Soporte hardware para lenguajes de alto nivel (lógica, aritmética, secuenciación de instrucciones) y para sistemas operativos (entrada/salida, gestión de memoria, cambios de contexto). Elementos del diseño lógico de un ordenador. Decisiones fundamentales en el diseño de ordenadores.

**Ingeniería y arquitectura de computadores (5 unidades).** Diseño de instrucciones. Transferencias entre registros. Proyecto de diseño de un computador (unas 100 horas de duración). Diseño de la ruta de datos. Diseño del controlador. Sistema de memoria. Direccionamiento. Microprogramación. Aritmética del computador. Revisión de ordenadores y microprocesadores reales.

### **Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT)**

Al igual que en la Universidad de California en Berkeley, el MIT ofrece un programa en el que la informática y la ingeniería de telecomunicaciones se encuentran unidos.

El programa ofertado se denomina: Telecomunicaciones e Informática (Electrical Engineering and Computer Science). Comparado con la Universidad de Berkeley, este programa se encuentra más centrado en el campo de la electrónica, las comunicaciones y la ingeniería en general, siguiendo el enfoque general de esta prestigiosa Universidad. La estructura de los cursos, política de selección de materias, sistema de enseñanza, etc. son equivalentes a los comentados en la Universidad de Berkeley.

A continuación mostraremos los cursos ofertados en la primavera de 2000, centrándonos en aquellos más relacionados con el perfil.

**Estructuras de computación (4 unidades).** Arquitectura de los sistemas digitales, haciendo énfasis en principios estructurales comunes a un amplio rango de tecnologías. Estrategias de implementación multinivel, definición de nuevas primitivas y su implementación usando elementos de bajo nivel. Análisis de concurrencia. Restricciones y medidas de prestaciones. Estructuras en pipeline.

**Laboratorio de proyectos de microcomputadores (4 unidades).** Tres proyectos de microprocesadores: el primero introduce el software y hardware básicos, herramientas de desarrollo y proporciona experiencia con

interrupciones, convertidores analógico/digitales, comunicaciones, procesamiento digital de la señal y control. El segundo proyecto se centra en la planificación, prueba y logro de metas específicas; requiere trabajo en equipo para construir un sistema basado en microprocesador. El tercer proyecto, que elige el alumno, busca la originalidad y creatividad.

**Arquitectura de sistemas de computadores (4 unidades).** Se centra en la relación existente entre tecnología, organización hardware y programación de sistemas en la evolución de la arquitectura de los computadores. Procesadores con pipeline, finalización de instrucciones fuera de orden, ejecución especulativa, superescalares y multihilo. Entrada/salida y sistemas de memoria. Estructuras de direccionamiento y memoria virtual. Impacto en las prestaciones y la programación. Computadores paralelos, paso de mensajes y sistemas de memoria compartida. Modelos de memoria, sincronización y protocolos de coherencia de cachés. Supercomputadores vectoriales.

## CONCLUSIONES

Una vez implantado este programa de Arquitectura de Computadores se puede observar mejoras a dos niveles:

- La visión más completa del temario a nivel teórico revierte en una mejor comprensión y entendimiento del funcionamiento entrelazado de todos los elementos que confluyen en la definición de la Arquitectura y Organización de un computador. De hecho, se ha observado que la completitud de temario a pesar de afectar a la profundidad con la que se imparten los conocimientos, el recurso más crítico en esta asignatura es el tiempo existente para su impartición, ha desarrollado en los alumnos un mayor enfoque analítico sobre el claramente sintético que se producía al profundizar a niveles particulares en las características arquitectónicas de las diferentes realizaciones presentes en temarios anteriores.
- La otra gran mejora que se ha observado ha sido a nivel práctico, al pasar de prácticas con utilización de placas hardware a un sistema de simulación software, se ha pasado de la necesidad de realizar las prácticas en un laboratorio específico del Departamento a que estas se puedan no solo realizar los laboratorios habilitados para las mismas sino también en cualquier otra instalación de la Universidad e incluso en los equipos propios de los alumnos. Además el sistema visual proporcionado por el simulador BSVC hace que los problemas asociados al entorno poco "amigable" de las prácticas con placas hardware no suponga un problema añadido a la propia adquisición de conocimientos y habilidades necesarios para superar la realización de las prácticas. La implantación de esta nueva modalidad de las prácticas ha revertido en un mayor nivel de presentación y superación de las mismas, acompañado por unas críticas muy positivas por parte del alumnado.

## REFERENCIAS

- Computer Organization and Architecture, fifth edition, William Stallings, Prentice Hall, 2000
- Structured Computer Organization, Andrew S. Tanenbaum, Prentice Hall, 1999
- Computer Architecture and Design, A.J. Van de Goor, Addison-Wesley, 1989
- Sistemas Digitales. Ingeniería de los procesadores 68000. A. GARCÍA GUERRA. Centro de Estudios Ramón Areces, 1993.
- Microprocessor Systems Design. 68.000 Hw, Sw. and Interfacing (2nd. ed.). A. CLEMENTS. PWS-Kent Publishing Company, 1992.
- Notas y transparencias de Arquitectura de Computadores, Francisco Aylagas. Dpto. de Publicaciones de la EUI