

## PLAN DOCENTE DE LA ASIGNATURA

Curso académico: 2024/2025

Identificación y características de la asignatura			
Código	501287	Créditos ECTS	6
Denominación (español)	Arquitectura de Computadores		
Denominación (inglés)	Computer Architecture		
Titulaciones	Grado en Ingeniería Informática en Ingeniería de Computadores		
Centro	Escuela Politécnica		
Semestre	6	Carácter	Obligatorio
Módulo	Módulo de Tecnología Específica en Ingeniería de Computadores		
Materia	Arquitecturas Paralelas y Distribuidas		
Profesorado			
Nombre	Despacho	Correo-e	Página web
Miguel Ángel Vega Rodríguez	ARCO	<a href="mailto:mavega@unex.es">mavega@unex.es</a>	<a href="http://arco.unex.es/mavega">http://arco.unex.es/mavega</a>
Área de conocimiento	Arquitectura y Tecnología de Computadores		
Departamento	Tecnología de los Computadores y de las Comunicaciones		
Profesor/a coordinador/a (si hay más de uno)	Miguel Ángel Vega Rodríguez		
Competencias			
COMPETENCIAS BÁSICAS			
CB1: 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.			
CB2: Que los estudiantes 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.			
CB3: Que los estudiantes 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.			
CB4: Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado.			
CB5: Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.			
COMPETENCIAS GENERALES			
CG04: Capacidad para definir, evaluar y seleccionar plataformas hardware y software para el desarrollo y la ejecución de sistemas, servicios y aplicaciones informáticas, de acuerdo con los conocimientos adquiridos para la tecnología específica de Ingeniería de Computadores.			
CG06: Capacidad para concebir y desarrollar sistemas o arquitecturas informáticas centralizadas o distribuidas integrando hardware, software y redes, de acuerdo con los conocimientos adquiridos para la tecnología específica de Ingeniería de Computadores.			
CG08: Conocimiento de las materias básicas y tecnologías, que capaciten para el aprendizaje y desarrollo de nuevos métodos y tecnologías, así como las que les doten de una gran versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones.			

<b>COMPETENCIAS TÉCNICAS (ESPECÍFICAS DE LA INGENIERÍA DE COMPUTADORES)</b>
CIC03: Capacidad de analizar y evaluar arquitecturas de computadores, incluyendo plataformas paralelas y distribuidas, así como desarrollar y optimizar software para las mismas.
<b>COMPETENCIAS TRANSVERSALES</b>
CT03: Capacidad para resolver problemas.
CT16: Capacidad para adaptarse a nuevas situaciones y cambios.
<b>OBJETIVOS DE APRENDIZAJE (DOCENTES) DE LA ASIGNATURA</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Saber por qué son necesarias las arquitecturas paralelas de computadores, conocer la clasificación de las mismas y algunas de las métricas de rendimiento más habitualmente utilizadas en arquitecturas paralelas.</li> <li>• Dominar los conceptos fundamentales sobre las arquitecturas paralelas multiprocesador y multinúcleo, así como otros tipos de arquitecturas multihilo. Conocer la jerarquía de la memoria en dichas arquitecturas paralelas, así como los principales conceptos sobre coherencia y consistencia de la memoria.</li> <li>• Conocer los aspectos fundamentales sobre la programación paralela de multiprocesadores y procesadores multinúcleo, utilizando para ello OpenMP.</li> <li>• Dominar los conceptos fundamentales sobre las arquitecturas paralelas multicomputador. Conocer las redes de interconexión usadas en las mismas, así como los principales conceptos sobre éstas: topologías, encaminamiento, etc.</li> <li>• Conocer los aspectos fundamentales sobre la programación paralela de multicomputadores, utilizando para ello MPI.</li> <li>• Saber los conceptos fundamentales sobre las arquitecturas superescalares, las etapas de segmentación típicas en ellas, las técnicas más habituales y algunos ejemplos de procesadores superescalares.</li> <li>• Conocer las arquitecturas paralelas en datos más comunes (vectoriales, SIMD y GPGPUs), así como sus características y técnicas fundamentales.</li> <li>• Conocer los aspectos fundamentales sobre la programación paralela en datos, utilizando para ello extensiones vectoriales/SIMD del repertorio de instrucciones, OpenMP y conceptos básicos de programación CUDA.</li> </ul>
<b>Contenidos</b>
<b>Breve descripción del contenido</b>
<p>Arquitecturas multiprocesador. Arquitecturas multinúcleo y multihilo. Arquitecturas multicomputador. Arquitecturas superescalares. Arquitecturas vectoriales.</p> <p>La asignatura consta de dos partes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Parte teórica. En ella se introducen los conceptos principales sobre diversas arquitecturas paralelas de computadores, así como las herramientas habituales para desarrollar y optimizar software para las mismas (aplicaciones paralelas).</li> <li>Parte práctica. El estudiante deberá utilizar las herramientas/ideas introducidas en la parte teórica para desarrollar/diseñar distintas aplicaciones y arquitecturas paralelas, así como evaluar su rendimiento.</li> </ol>
<b>Temario de la asignatura</b>
<p>Denominación del tema 1: Introducción a las arquitecturas paralelas de computadores.</p> <p>Contenidos del tema 1:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1 ¿Por qué son necesarias las arquitecturas paralelas?</li> <li>1.2 Clasificación de las arquitecturas paralelas.</li> <li>1.3 Métricas de rendimiento en arquitecturas paralelas.</li> </ol> <p>Descripción de las actividades prácticas del tema 1: Problemas de la Ley de Amdahl y la Ley de Gustafson.</p>

Denominación del tema 2: Multiprocesadores y procesadores multinúcleo.

Contenidos del tema 2:

- 2.1 Arquitecturas paralelas multiprocesador y multinúcleo.
  - 2.1.1 Conceptos básicos sobre multiprocesadores y procesadores multinúcleo.
  - 2.1.2 Tipos de arquitecturas multihilo.
  - 2.1.3 Jerarquías de memoria en multiprocesadores.
  - 2.1.4 Jerarquías de memoria en procesadores multinúcleo.
  - 2.1.5 Coherencia y consistencia de la memoria.
  - 2.1.6 Protocolos de coherencia caché basados en vigilancia.
  - 2.1.7 Protocolos de coherencia caché basados en directorio.
- 2.2 Programación paralela de multiprocesadores y procesadores multinúcleo.
  - 2.2.1 Introducción a OpenMP.
  - 2.2.2 Directivas OpenMP.
  - 2.2.3 Cláusulas de alcance de datos en OpenMP.
  - 2.2.4 Funciones de biblioteca en OpenMP.
  - 2.2.5 Variables de entorno en OpenMP.

Descripción de las actividades prácticas del tema 2: Simulador de memorias cachés en multiprocesadores y procesadores multinúcleo (SMPCache) y programación paralela con OpenMP.

Denominación del tema 3: Multicomputadores.

Contenidos del tema 3:

- 3.1 Arquitecturas paralelas multicomputador.
  - 3.1.1 Conceptos básicos sobre multicomputadores.
  - 3.1.2 Redes de interconexión en multicomputadores.
  - 3.1.3 Topologías de redes de interconexión.
  - 3.1.4 Técnicas de conmutación en redes de interconexión.
  - 3.1.5 Encaminamiento en redes de interconexión.
- 3.2 Programación paralela de multicomputadores.
  - 3.2.1 Introducción a MPI.
  - 3.2.2 Funciones de biblioteca básicas en MPI.
  - 3.2.3 Tipos de datos en MPI.
  - 3.2.4 Comunicaciones punto a punto en MPI.
  - 3.2.5 Comunicaciones colectivas en MPI.
  - 3.2.6 Programación híbrida MPI/OpenMP.

Descripción de las actividades prácticas del tema 3: Simulador de redes de interconexión en multicomputadores (SimuRed) y programación paralela con MPI.

Denominación del tema 4: Arquitecturas superescalares.

Contenidos del tema 4:

- 4.1 Conceptos importantes.
- 4.2 Arquitectura de un procesador superescalar.
- 4.3 Etapas de segmentación en un procesador superescalar.
- 4.4 Tipos de procesadores superescalares.
- 4.5 Técnicas usadas en procesadores superescalares.
- 4.6 Ejemplo de procesador superescalar.

Descripción de las actividades prácticas del tema 4: Simulador de procesadores superescalares (SimpleScalar).

Denominación del tema 5: Arquitecturas vectoriales, SIMD y GPGPU.

Contenidos del tema 5:

- 5.1 Arquitecturas paralelas en datos.
  - 5.1.1 Introducción a las arquitecturas paralelas en datos.
  - 5.1.2 Arquitecturas vectoriales.
  - 5.1.3 Arquitecturas GPGPU: Unidades de procesamiento gráfico para propósito general.

## 5.2 Programación paralela en datos.

5.2.1 SIMD: Extensiones vectoriales del repertorio de instrucciones.

5.2.2 SIMD utilizando OpenMP.

5.2.3 CUDA: Programación paralela de GPGPUs.

Descripción de las actividades prácticas del tema 5: Programación paralela con extensiones vectoriales (SIMD) del repertorio de instrucciones.

### Actividades formativas

Horas de trabajo del estudiante por tema		Horas Gran grupo	Actividades prácticas				Actividad de seguimiento	No presencial
Tema	Total	GG	CH	L	O	S	TP	EP
1. Intro. a las arquitecturas paralelas	9	3	0	1	0	0	0	5
2. Multiprocesadores y multinúcleos	36	12	0	4	0	0	1	19
3. Multicomputadores	36	12	0	4	0	0	1	19
4. Arquitecturas superescalares	13	4	0	1	0	0	0	8
5. Arq. vectoriales, SIMD y GPGPU	31	10	0	3	0	0	1	17
<b>Evaluación</b>	25	4	0	2	0	0	0	19
<b>TOTAL</b>	150	45	0	15	0	0	3	87

GG: Grupo Grande (85 estudiantes).

CH: Actividades de prácticas clínicas hospitalarias (7 estudiantes).

L: Actividades de laboratorio o prácticas de campo (15 estudiantes).

O: Actividades en sala de ordenadores o laboratorio de idiomas (20 estudiantes).

S: Actividades de seminario o de problemas en clase (40 estudiantes).

TP: Tutorías Programadas (seguimiento docente, tipo tutorías ECTS).

EP: Estudio personal, trabajos individuales o en grupo, y lectura de bibliografía.

### Metodologías docentes

#### Clases teórico-prácticas en aula

Se emplearán distintas actividades en el aula, dirigidas al grupo completo o a pequeños grupos. Principalmente, se realizarán clases expositivas para el desarrollo de los contenidos fundamentales de la asignatura y, para conseguir la participación activa de los estudiantes, se llevarán a cabo actividades breves individuales o en grupo que permitan aplicar los conceptos expuestos y resolver problemas. Se propondrán actividades encaminadas a la aplicación de los conocimientos en la resolución de problemas propios del ámbito de la Arquitectura de Computadores.

#### Sesiones de laboratorio

Se realizarán actividades prácticas, sesiones de laboratorio guiadas, resolución de problemas, etc. en grupos, bajo la dirección del profesor. Se podrán incluir actividades previas y posteriores a las sesiones de laboratorio que ayuden a conseguir los objetivos propuestos. Las actividades propuestas se aproximarán, en la medida de lo posible, a las actividades reales a las que se enfrenta un Ingeniero de Computadores en su desarrollo profesional.

#### Tutorías programadas

En estas tutorías programadas individuales o en grupos pequeños se realizará un seguimiento más individualizado del estudiante, con actividades de formación y orientación. Estas tutorías servirán para guiar al estudiante en la toma de decisiones, evaluar los trabajos realizados y fomentar las actitudes

propias de los profesionales del ámbito de la Informática.

#### Trabajo y estudio individual no presencial

Realización de actividades, trabajos y estudio por parte del estudiante, de manera autónoma, individualmente o en grupo. Se fomentarán las tareas no presenciales similares a las que realiza un Ingeniero en su ámbito profesional.

### **Resultados de aprendizaje**

- Domina los conceptos fundamentales sobre diversas arquitecturas de computadores, como arquitecturas superescalares, multinúcleo, vectoriales, multihilo, multiprocesador y multicomputador, pudiendo evaluar de manera efectiva y eficiente los distintos sistemas hardware en términos de calidad, aportando posibles alternativas a un determinado problema.
- Reconoce la estructura de un problema, datos de entrada, incógnitas, magnitudes, condiciones iniciales, así como los pasos de su resolución.
- Extrae del problema las soluciones triviales, reconoce la multiplicidad de soluciones, etc.
- Sabe elegir con fundamento los métodos y medios más adecuados para resolver un problema.
- Identifica las situaciones de cambio.
- Elabora las estrategias para abordar la problemática implicada por la nueva situación.
- Aplica las estrategias para adaptarse a la nueva situación.

### **Sistemas de evaluación**

La asignatura contempla 2 modalidades de evaluación: **evaluación continua** y **evaluación global**. Los estudiantes podrán elegir entre ambas evaluaciones (continua o global) de acuerdo a la Normativa de Evaluación de la UEx, en los plazos establecidos por la misma.

La asignatura está dividida en dos partes: teoría y prácticas; que deben aprobarse por separado. Ambas partes se califican de 0 a 10. Los estudiantes que aprueben una de las partes (teoría o prácticas) se les guarda durante el resto de convocatorias del mismo curso académico.

#### **Criterios de evaluación:**

- Demostrar la adquisición, comprensión y dominio de los principales conceptos de la asignatura.
- Resolver problemas aplicando conocimientos teóricos y basándose en resultados experimentales, demostrando que se saben elegir con fundamento los métodos y medios más adecuados para resolver cada problema.
- Desarrollar y comprender adecuadamente las prácticas de la asignatura, demostrando que se saben aplicar las estrategias necesarias para adaptarse a cambios o nuevas situaciones prácticas.
- La nota final de la asignatura (NF) se calculará realizando la suma ponderada siguiente, donde NT es la calificación obtenida en la parte teórica y NP es la calificación obtenida en la parte práctica de la asignatura:

$$NF = NT*0,75 + NP*0,25$$

- Para poder realizar dicha suma ponderada se ha de obtener en cada parte, por separado, una nota igual o superior a 4,5 puntos. Caso de no llegar a esa nota, la asignatura quedará suspensa en esa convocatoria.
- Para aprobar la asignatura la nota final (tras hacer la suma ponderada de ambas partes) debe ser igual o superior a 5 puntos.

#### **Actividades e instrumentos de evaluación:**

- *Prácticas (Laboratorio):*

- **Evaluación continua:** para cada práctica semanal se evaluará la calidad de la documentación técnica entregada, además de la asistencia a dicha práctica y la realización de la misma.
- **Evaluación global:** los **estudiantes que no hayan superado o no deseen seguir la evaluación continua** tendrán derecho a presentarse al **examen final de prácticas (prueba final alternativa de carácter global, evaluación global)** en las convocatorias oficiales correspondientes. En este caso, para aprobar las prácticas hay que realizar un examen práctico, demostrando el conocimiento y dominio de los conceptos tratados en las prácticas de la asignatura, así como la capacidad de adaptación a cambios o nuevas situaciones prácticas.
- **Teoría (Grupo Grande):**
  - **Evaluación continua:** de los 10 puntos de teoría, 2 puntos se evaluarán mediante preguntas de teoría semanales y los 8 puntos restantes mediante un examen de teoría, es decir, una prueba de desarrollo escrito y resolución de problemas.
  - **Evaluación global:** para aprobar la teoría hay que realizar un examen de teoría en las convocatorias oficiales correspondientes, demostrando la adquisición, comprensión y dominio de los distintos conceptos de la asignatura, así como la correcta aplicación de estos conceptos, de forma creativa y segura, a supuestos de carácter práctico (problemas).

### Bibliografía (básica y complementaria)

- Apuntes, diapositivas y enunciados de prácticas y problemas facilitados por el profesor.
- Referencias bibliográficas:
  - Arquitectura de Computadores. Thomson-Paraninfo. Julio Ortega, Mancia Anguita y Alberto Prieto.
  - Parallel Computer Architecture: A Hardware/Software Approach. Morgan Kaufmann. David Culler, Jaswinder P. Singh, and Anoop Gupta.
  - Computer Architecture: A Quantitative Approach. 6<sup>th</sup> edition, Morgan Kaufmann. John L. Hennessy and David A. Patterson.
  - Computer Organization & Architecture: Designing for Performance. 11<sup>th</sup> edition, Prentice Hall. William Stallings.
  - Advanced Computer Architecture: A Design Space Approach. Addison-Wesley. Dezso Sima, Terence Fountain, and Peter Kacsuk.
  - Arquitectura de Computadores: Fundamentos de los Procesadores Superescalares. McGraw-Hill. John Paul Shen y Mikko H. Lipasti.
  - The OpenMP Common Core: Making OpenMP Simple Again. MIT Press. Timothy G. Mattson, Yun (Helen) He, and Alice E. Koniges.
  - Using MPI: Portable Parallel Programming with the Message Passing Interface. 3<sup>rd</sup> edition, MIT Press. William Gropp, Ewing Lusk, and Anthony Skjellum.
  - Programming Massively Parallel Processors: A Hands-on Approach. 4<sup>th</sup> edition, Morgan Kaufmann. Wen-Mei W. Hwu, David B. Kirk, and Izzat El Hajj.

### Otros recursos y materiales docentes complementarios

- Aula virtual de la asignatura (descarga de materiales, foros, noticias, etc.):  
<https://campusvirtual.unex.es/zonauex/avuex/course/view.php?id=17213>
- Sitio web del simulador SMPCache: <http://arco.unex.es/smpcache>
- Sitio web de OpenMP: <https://openmp.org>
- Sitio web del simulador SimuRed: <https://simured.uv.es>
- Sitio web de MPI: <https://www.mpi-forum.org>
- Sitio web de MPICH: <https://www.mpich.org>
- Sitio web de Open MPI: <https://www.open-mpi.org>
- Sitio web del simulador SimpleScalar: <https://github.com/onesuper/SimpleScalar>

- Sitio web de extensiones SIMD del repertorio de instrucciones:  
<https://software.intel.com/sites/landingpage/IntrinsicsGuide/>
- Sitio web de CUDA: <https://developer.nvidia.com/cuda-zone>
- TOP500 Supercomputer List: <https://www.top500.org>
- Green500 Energy-Efficient Supercomputer List: <https://www.top500.org/lists/green500/>
- Sitios web de los distintos libros recomendados en la asignatura.