



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

PROCESO DE  
COORDINACIÓN DE LAS  
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingeniería de  
Sistemas Informáticos

# ANX-PR/CL/001-01

## GUÍA DE APRENDIZAJE

### ASIGNATURA

**615000725 - Procesamiento Paralelo**

### PLAN DE ESTUDIOS

61TI - Grado En Tecnologías Para La Sociedad De La Informacion

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2024/25 - Primer semestre

## Índice

---

### Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Conocimientos previos recomendados.....	2
4. Competencias y resultados de aprendizaje.....	2
5. Descripción de la asignatura y temario.....	4
6. Cronograma.....	6
7. Actividades y criterios de evaluación.....	9
8. Recursos didácticos.....	12
9. Otra información.....	13

## 1. Datos descriptivos

---

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	615000725 - Procesamiento Paralelo
<b>No de créditos</b>	6 ECTS
<b>Carácter</b>	Obligatoria
<b>Curso</b>	Tercero curso
<b>Semestre</b>	Quinto semestre
<b>Período de impartición</b>	Septiembre-Enero
<b>Idioma de impartición</b>	Castellano
<b>Titulación</b>	61TI - Grado en Tecnologías para la Sociedad de la Información
<b>Centro responsable de la titulación</b>	61 - Escuela Técnica Superior De Ingeniería De Sistemas Informáticos
<b>Curso académico</b>	2024-25

## 2. Profesorado

---

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías *</b>
Jose Carlos Gamazo Real (Coordinador/a)	4307	josecarlos.gamazo@upm.es	Sin horario. Se indicará al inicio del semestre

\* Las horas de tutoría son orientativas y pueden sufrir modificaciones. Se deberá confirmar los horarios de tutorías con el profesorado.

## 3. Conocimientos previos recomendados

---

### 3.1. Asignaturas previas que se recomienda haber cursado

El plan de estudios Grado en Tecnologías para la Sociedad de la Información no tiene definidas asignaturas previas recomendadas para esta asignatura.

### 3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

- Fundamentos de programación en C
- Fundamentos de arquitectura de computadores y redes
- Conocimientos de programación secuencial

## 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

### 4.1. Competencias

CE02 - Capacidad para seleccionar, diseñar, desplegar, integrar, evaluar, construir, gestionar, explotar y mantener las tecnologías de hardware, software y redes, dentro de los parámetros de coste y calidad adecuados.

CT01 - Análisis y síntesis: Descomponer la información en unidades más pequeñas separando los componentes fundamentales de los no relevantes e identificando las relaciones existentes entre ellos. Síntesis: Combinar información para construir un todo a partir de las entidades previamente analizadas.

CT02 - Resolución de problemas: Identificar, analizar y definir los elementos significativos que constituyen un problema para resolverlo con criterio y de forma efectiva.

CT04 - Comunicación escrita: Relacionarse eficazmente con otras personas a través de la expresión clara de lo que se piensa, mediante la escritura y los apoyos gráficos.

## 4.2. Resultados del aprendizaje

RA107 - Comprende la necesidad de paralelizar para sacar rendimiento a los procesadores actuales.

RA111 - Capacidad para aplicar distintas técnicas básicas de programación paralela para dividir una aplicación en partes que puedan ser ejecutadas en paralelo

RA110 - Capacidad para interpretar los resultados de aceleración y eficiencia obtenidos al paralelizar una aplicación

RA112 - Aplicar técnicas, tanto estáticas como dinámicas, para el reparto de carga entre procesos.

RA116 - Utiliza herramientas de depuración en aplicaciones paralelas.

RA106 - .Comprende la necesidad de disponer de muchos núcleos para determinadas aplicaciones.

RA108 - Comprende la importancia de la red en un entorno multicomputador

RA114 - Implanta algoritmos paralelos utilizando el paradigma de paso de mensajes

RA115 - Implanta algoritmos paralelos utilizando el paradigma de memoria común.

RA117 - Adquiere destreza en la programación paralela aplicada a la ordenación de elementos.

RA113 - Resuelve adecuadamente el problema de la terminación ordenada de procesos cooperantes

RA109 - Comprende los límites a la programación paralela y la dificultad de hacer programas paralelos eficientes y escalables

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

Se pretende ser capaz de dividir la ejecución de una tarea intensiva en cómputo en muchos procesos de forma que pueda ser ejecutada con paralelismo real en máquinas de muchos procesadores y así poder ejecutarla más rápido. Aunque teóricamente intentaremos que las soluciones puedan ser ejecutadas en sistemas de decenas, cientos o miles de procesadores, haremos prácticas probando ejecuciones reales en hasta 64 núcleos.

### 5.2. Temario de la asignatura

1. Computadores paralelos
  - 1.1. Necesidades
  - 1.2. Modelos
  - 1.3. Redes directas
  - 1.4. Posibilidades para el aumento de velocidad
2. Programación basada en paso de mensajes
  - 2.1. Técnicas básicas
  - 2.2. Message Passing Interface (MPI)
  - 2.3. Evaluación de prestaciones
  - 2.4. Depuración y monitorización
3. Técnicas básicas de programación paralela
  - 3.1. Computación compulsivamente paralela
  - 3.2. Particionamiento y divide y vencerás
  - 3.3. Pipeline
  - 3.4. Computación síncrona
  - 3.5. Equilibrado de carga y detección de terminación
4. Programación basada en memoria común
  - 4.1. Introducción
  - 4.2. Pthreads

4.3. OpenMP

4.4. Cilk++

4.5. CUDA

4.6. Memoria transaccional

5. Algoritmos y aplicaciones

5.1. Ordenación

5.2. Búsqueda y optimización

## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad tipo 1	Actividad tipo 2	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	<b>Presentación asignatura</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 1</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Presentación prácticas</b> Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
2	<b>Tema 2</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Configuración grupos prácticas</b> Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		<b>Cuestionario Tema1</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación Progresiva No presencial Duración: 00:20
3	<b>Tema 3.1</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Práctica 1</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
4	<b>Tema 3.2</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Práctica 1</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		<b>Cuestionario Tema2</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación Progresiva No presencial Duración: 00:20
5	<b>Tema 3.2</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Práctica 1</b> Duración: 01:30 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		<b>Examen Teoría - Temas 1, 2 y 3.1</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Progresiva Presencial Duración: 01:00  <b>Evaluación Práctica 1</b> OT: Otras técnicas evaluativas Evaluación Progresiva Presencial Duración: 00:30
6	<b>Tema 3.3</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Práctica 2</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
7	<b>Tema 3.4</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Práctica 2</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		<b>Cuestionario Tema3 (A)</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación Progresiva No presencial Duración: 00:20
8	<b>Temas 3.4</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Práctica 2</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		

9	<b>Tema 3.5</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Práctica 2</b> Duración: 01:30 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		<b>Evaluación Práctica 2</b> OT: Otras técnicas evaluativas Evaluación Progresiva Presencial Duración: 00:30
10	<b>Tema 3.5</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Práctica 3</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		<b>Cuestionario Tema3 (B)</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación Progresiva No presencial Duración: 00:20
11	<b>Tema 4</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Práctica 3</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
12	<b>Tema 4</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Práctica 3</b> Duración: 01:30 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		<b>Examen Teoría - Temas 3.2 a 3.5</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Progresiva Presencial Duración: 01:00  <b>Evaluación Práctica 3</b> OT: Otras técnicas evaluativas Evaluación Progresiva Presencial Duración: 00:30
13	<b>Tema 4</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Práctica 4</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
14	<b>Tema 5</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Práctica 4</b> Duración: 01:30 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		<b>Evaluación Práctica 4</b> OT: Otras técnicas evaluativas Evaluación Progresiva Presencial Duración: 00:30
15	<b>Tema 5</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			<b>Presentación e Informe Artículo</b> OT: Otras técnicas evaluativas Evaluación Progresiva Presencial Duración: 02:00  <b>Cuestionario Temas 4 y 5</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación Progresiva No presencial Duración: 00:20
16				
17				<b>Examen Teoría - Temas 4 y 5</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Progresiva Presencial Duración: 01:00  <b>Examen Teoría Final</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Global Presencial Duración: 02:00  <b>Informe Artículo</b> OT: Otras técnicas evaluativas Evaluación Global

				No presencial Duración: 00:00  <b>Prácticas</b> OT: Otras técnicas evaluativas Evaluación Global No presencial Duración: 00:00
--	--	--	--	---

Para el cálculo de los valores totales, se estima que por cada crédito ECTS el alumno dedicará dependiendo del plan de estudios, entre 26 y 27 horas de trabajo presencial y no presencial.

## 7. Actividades y criterios de evaluación

### 7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

#### 7.1.1. Evaluación (progresiva)

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
2	Cuestionario Tema1	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	00:20	2%	0 / 10	CT01 CT02
4	Cuestionario Tema2	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	00:20	2%	0 / 10	CT01 CT02
5	Examen Teoría - Tems 1, 2 y 3.1	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:00	15%	3 / 10	CE02
5	Evaluación Práctica 1	OT: Otras técnicas evaluativas	Presencial	00:30	10%	3 / 10	CE02 CT02
7	Cuestionario Tema3 (A)	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	00:20	2%	0 / 10	CT01 CT02
9	Evaluación Práctica 2	OT: Otras técnicas evaluativas	Presencial	00:30	10%	3 / 10	CE02 CT02
10	Cuestionario Tema3 (B)	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	00:20	2%	0 / 10	CT01 CT02
12	Examen Teoría - Tems 3.2 a 3.5	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:00	15%	3 / 10	CE02
12	Evaluación Práctica 3	OT: Otras técnicas evaluativas	Presencial	00:30	10%	3 / 10	CE02 CT02

14	Evaluación Práctica 4	OT: Otras técnicas evaluativas	Presencial	00:30	5%	3 / 10	CE02 CT02
15	Presentación e Informe Artículo	OT: Otras técnicas evaluativas	Presencial	02:00	10%	0 / 10	CT01 CT04
15	Cuestionario Tems 4 y 5	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	00:20	2%	0 / 10	CT01 CT02
17	Examen Teoría - Tems 4 y 5	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:00	15%	3 / 10	CE02

### 7.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	Examen Teoría Final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	50%	4 / 10	CE02 CT01
17	Informe Artículo	OT: Otras técnicas evaluativas	No Presencial	00:00	10%	0 / 10	CT04 CT01
17	Prácticas	OT: Otras técnicas evaluativas	No Presencial	00:00	40%	3 / 10	CT01 CT02

### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Examen final, artículo y prácticas	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	100%	5 / 10	CT01 CE02 CT02 CT04

## 7.2. Criterios de evaluación

### EVALUACIÓN CONTINUA (PROGRESIVA): (Ver Tabla de Actividades de Evaluación)

Evaluación de **tres exámenes de tipo test y conceptuales de respuesta corta** que supondrán un **45% de la nota final**. En cada una de las pruebas se exige un mínimo de 3 sobre 10 y en la suma total de teoría de esta parte hay que alcanzar un mínimo de 4 sobre 10. En el examen final ordinario (prueba de evaluación global) se permitirá recuperar las dos primeras pruebas de tipo test si se obtuvo una nota por debajo del mínimo exigido.

Evaluación de actividades **prácticas** (deben funcionar correctamente) que supondrán un **35% de la nota final**. Esta parte práctica de la asignatura es obligatoria e imprescindible para poder superar la asignatura y debe realizarse durante el periodo docente de impartición de la asignatura. La nota de esta parte práctica de la asignatura se guarda de un curso para el siguiente.

Evaluación de la exposición en el aula de un **artículo** relevante sobre la materia impartida (aspecto de las transparencias, claridad expositiva y capacidad de síntesis). Puede sustituirse por entrega en papel si la no disponibilidad de horas de clase suficientes, así lo aconsejasen. El peso de esta parte será de un **10% de la nota final**.

Evaluación de cinco **questionarios de tipo test y de preguntas abiertas vía Moodle** que supondrán un **10% de la nota final**.

Recordar que, para aprobar, la nota final debe ser igual o superior a 5 sobre 10.

### EVALUACIÓN PRUEBA FINAL (GLOBAL) Y EXTRAORDINARIO (Ver Tabla de Actividades de Evaluación):

Para los alumnos que se presenten a la prueba global o a la extraordinaria, la prueba consistirá en:

\* Examen escrito formado por preguntas de tipo test y otras conceptuales de respuesta corta. Supondrá un **50% de la nota final** exigiéndose un mínimo de 4 sobre 10.

\* Deberán aportar un resumen de un artículo por escrito. Supondrá un **10% de la nota final**.

\* Deberán haber realizado prácticas suficientes para alcanzar el mínimo exigido (3 sobre 10). Supondrá un **40% de la nota final**.

Recordar que para aprobar, la nota final debe ser igual o superior a 5 sobre 10.

## Relación de Resultados de Aprendizaje EVALUADOS EN CADA PRUEBA DE LA EVALUACIÓN CONTINUA:

Semana	Descripción	Resultado Evaluado
5	Examen Teoría - Temas 1, 2 y 3.1	RA106, RA107, RA108, RA109, RA110 y RA111
11	Examen Teoría - Temas 3.2 a 3.5	RA111, RA112 y RA113
4, 8, 11 y 13	Evaluación Prácticas 1 a 4	RA114, RA115 y RA116
14	Presentación e Informe de Artículo	RA109 Y RA110
17	Examen Teoría - Temas 4 y 5	RA111 y RA117

## 8. Recursos didácticos

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Gamazo Real, José Carlos. Técnicas y Aplicaciones de Procesamiento Paralelo. Madrid: UPM Press, 2023.	Bibliografía	Libro principal de la asignatura: ISBN (impreso): 978-84-18661-42-6, e-ISBN (electrónico): 978-84-18661-43-3
Wilkinson, B. & Allen, M. Parallel Programming: Techniques and Applications Using Networked Workstations and Parallel Computers (2nd ed.). Prentice-Hall, 2005.	Bibliografía	Libro de apoyo
Quinn, M.J. Parallel Programming in C with MPI and OpenMP. McGraw-Hill, 2003.	Bibliografía	Libro de apoyo

Página de acceso a materiales del curso (transparencias, enunciados de prácticas y cuestionarios)	Recursos web	Moodle de la asignatura:  <a href="https://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales/course/view.php?id=3505">https://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales/course/view.php?id=3505</a>
Página de acceso a información MPI	Recursos web	<a href="http://www.mcs.anl.gov/research/projects/mpi">www.mcs.anl.gov/research/projects/mpi</a>
Página de acceso a información CUDA	Recursos web	<a href="http://www.nvidia.es">www.nvidia.es</a>
Laboratorio 4401	Equipamiento	Cluster de PC's con sistemas OctaCore y QuadCore. Sistemas con tarjetas gráficas programables en CUDA. Placas Parallella con procesador de 16 núcleos.

## 9. Otra información

---

### 9.1. Otra información sobre la asignatura

Esta asignatura evalúa la competencia CT01 "Capacidad de análisis y síntesis" y CT04 "Comunicación escrita" cuya concreción se traduce en la exposición en el aula y en la entrega de un documento escrito acerca de un artículo relevante sobre la materia impartida (aspecto de las transparencias, claridad expositiva y capacidad de síntesis).

Además se evalúa la competencia transversal CT02 "Resolución de problemas" a través de la resolución de forma paralela de diferentes algoritmos software y problemas planteados en cada práctica de laboratorio, así como mediante la realización de cuestionarios en Moodle.

La asignatura se impartirá en modalidad 100% presencial. No obstante, si volviesen a surgir problemas de pandemia de tipo COVID-19, o similares, la asignatura está preparada para pasar a modo semi-presencial aprovechando todo el material y recursos online ya utilizados en cursos anteriores.

La asignatura se relaciona con el **ODS4 (Educación de Calidad)**: garantizar una educación inclusiva, equitativa y

de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos. Dentro de este objetivo es relevante la **Meta 4.4**, la cual considera de aquí a 2030, aumentar considerablemente el número de jóvenes y adultos que tienen las competencias necesarias, en particular técnicas y profesionales, para acceder al empleo, el trabajo decente y el emprendimiento. Este objetivo se materializa a través del amplio abanico de conceptos tratados en la asignatura y de su aplicación práctica en laboratorio mediante la programación de muchos de ellos, así como el fomento del trabajo en equipo y las capacidades comunicativas orales y escritas. Esto proporciona a los alumnos destrezas y conocimientos muy útiles para su futuro profesional.

También, la asignatura se relaciona con el **ODS9 (Industria, Innovación e Infraestructuras)**: construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación. Dentro de este objetivo es relevante la **Meta 9.1** que considera el desarrollo de infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, así como la **Meta 9.4**, la cual considera de aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales. Este objetivo se materializa a través de los conceptos tratados en la asignatura y de las prácticas de laboratorio realizadas que persiguen lograr algoritmos y sistemas más eficientes, de forma que con el uso de técnicas paralelas se permitirá a un sistema optimizar el uso de sus recursos de procesamiento, aumentar su fiabilidad y resiliencia ante fallos (se tiene procesamiento distribuido) y, por extensión, reducir el consumo energético al poder obtener más rendimiento de los procesadores actuales y utilizar redes de comunicaciones para distribuir la carga de procesamiento.

El desarrollo de actividades en el marco de los ODS mencionados se enmarca en la Comunidad EELISA **EGALITARIAN SOCIETIES: Opportunities for Everyone (ES: O4E)** que promueve la igualdad social a través del desarrollo de diversos proyectos sociales reales como el apoyo a colectivos sociales vulnerables, la educación para mejorar hábitos de consumo responsable y la mejora de los espacios públicos (ciudades y edificios).