



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

PROCESO DE
COORDINACIÓN DE LAS
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ing. de Sistemas
Informáticos

ANX-PR/CL/001-01

GUÍA DE APRENDIZAJE

ASIGNATURA

615000242 - Programacion Concurrente Y Avanzada

PLAN DE ESTUDIOS

61IW - Grado En Ingenieria Del Software

CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2025/26 - Segundo semestre

Índice

Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Conocimientos previos recomendados.....	3
4. Competencias y resultados de aprendizaje.....	3
5. Descripción de la asignatura y temario.....	4
6. Cronograma.....	8
7. Actividades y criterios de evaluación.....	12
8. Recursos didácticos.....	18
9. Otra información.....	19

1. Datos descriptivos

1.1. Datos de la asignatura

Nombre de la asignatura	615000242 - Programacion Concurrente y Avanzada
No de créditos	6 ECTS
Carácter	Obligatoria
Curso	Segundo curso
Semestre	Cuarto semestre
Período de impartición	Febrero-Junio
Idioma de impartición	Castellano
Titulación	61IW - Grado en Ingeniería del Software
Centro responsable de la titulación	61 - E.T.S De Ing. De Sistemas Informáticos
Curso académico	2025-26

2. Profesorado

2.1. Profesorado implicado en la docencia

Nombre	Despacho	Correo electrónico	Horario de tutorías *
Juan Antonio Rodrigo Ferran	4102	juanantonio.rodrido@upm.es	Sin horario. Sin horario. Las tutorías serán publicadas al principio del 2º Semestre en función de los horarios de impartición de las clases.

Sergio Gil Borrás	4211	sergio.gil@upm.es	Sin horario. Sin horario. Las tutorías serán publicadas al principio del 2º Semestre en función de los horarios de impartición de las clases
Gustavo Adolfo Hernandez Peñaloza (Coordinador/a)	4408	gustavo.hernandez.penaloz @upm.es	Sin horario. Sin horario. Las tutorías serán publicadas al principio del 2º Semestre en función de los horarios de impartición de las clases
Pilar Manzano Garcia	4412	pilar.manzano@upm.es	Sin horario. Sin horario. Las tutorías serán publicadas al principio del 2º Semestre en función de los horarios de impartición de las clases.
Carlos Camacho Gomez	4104	carlos.camacho@upm.es	Sin horario. Sin horario. Las tutorías serán publicadas al principio del 2º Semestre en función de los

			horarios de impartición de las clases
--	--	--	---

* 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

- Fundamentos De Programacion
- Programacion Orientada A Objetos

3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

El plan de estudios Grado en Ingeniería del Software no tiene definidos otros conocimientos previos para esta asignatura.

4. Competencias y resultados de aprendizaje

4.1. Competencias

CC14 - Conocimiento y aplicación de los principios fundamentales y técnicas básicas de la programación paralela, concurrente, distribuida y de tiempo real.

CT7 - Aprendizaje autónomo: El estudiante debe responsabilizarse de su propio aprendizaje, lo que le lleva a utilizar procesos cognitivos de forma estratégica y flexible, en función del objetivo de aprendizaje.

4.2. Resultados del aprendizaje

RA316 - Explica la utilidad de la programación concurrente en los contextos de la programación paralela y los sistemas de tiempo real

RA188 - Utiliza los monitores como herramienta de alto nivel para resolver problemas de programación concurrente

RA315 - Utiliza los distintos modelos de paso de mensajes para resolver problemas de programación concurrente, eligiendo el más adecuado en cada situación

RA194 - Dado un objetivo de aprendizaje a corto plazo, identifica de forma autónoma los conocimientos y habilidades necesarios y establece un plan para lograrlo. El plan integra la selección de fuentes de información, métodos de búsqueda de la información oportuna y criterios para sintetizar la información recopilada

RA184 - Aplica las teorías y técnicas necesarias para desarrollar correctamente programas concurrentes

RA314 - Detecta situaciones de interbloqueo y aplica mecanismos para afrontar dichas situaciones

RA185 - Desarrolla aplicaciones que ejecutan hilos concurrentes usando distintas herramientas

RA186 - Identifica los algoritmos elementales para resolver los problemas básicos de la programación concurrente y las limitaciones de dichas soluciones para resolver problemas de mayor envergadura

RA187 - Utiliza los semáforos como herramienta de bajo nivel para resolver problemas de programación concurrente

5. Descripción de la asignatura y temario

5.1. Descripción de la asignatura

Se puede definir un "programa concurrente" como un conjunto de programas secuenciales que pueden ser ejecutados en paralelo (M. Ben-Ari). Este conjunto de programas secuenciales (o procesos) puede ser ejecutados en varios procesadores (paralelismo real) o en un solo procesador (seudoparalelismo). En cualquiera de los dos casos, en el momento en que exista una cooperación entre dos o más procesos o existan recursos compartidos aparece la necesidad de sincronizar adecuadamente dichos procesos concurrentes para conseguir los resultados esperados.

Esta asignatura está orientada a estudiar las herramientas necesarias para la sincronización y coordinación de procesos concurrentes, así como los entornos de programación que nos ofrecen dichas herramientas. Además se estudian las teorías y las técnicas adecuadas para resolver problemas basados en la concurrencia.

5.2. Temario de la asignatura

1. Introducción a la programación concurrente
 - 1.1. Introducción a la programación Concurrente
 - 1.1.1. Niveles del SW de un ordenador
 - 1.1.2. Lenguajes de programación
 - 1.1.3. Gestión de memoria en el Sistema Operativo
 - 1.1.4. Threads dentro de un proceso
 - 1.1.5. Aplicaciones concurrentes
 - 1.2. Abstracción de la programación concurrente
 - 1.2.1. El papel de la abstracción
 - 1.2.2. Ejecución concurrente como entrelazado de sentencias atómicas
 - 1.2.3. Justificación de la abstracción
 - 1.2.4. Entrelazado arbitrario
 - 1.2.5. Sentencias atómicas
 - 1.2.6. Corrección
 - 1.2.7. Justicia
 - 1.2.8. Instrucciones de código máquina
2. El problema de la sección crítica
 - 2.1. Introducción y definición del problema
 - 2.2. Primer intento
 - 2.3. Prueba de corrección con diagramas de estado
 - 2.4. Otros intentos
 - 2.5. Algoritmo de Dekker
3. Semáforos
 - 3.1. Estados de un proceso

- 3.2. Definición del tipo semáforo
- 3.3. Problema de la sección crítica para dos procesos
- 3.4. Invariantes de los semáforos
- 3.5. Problema de la sección crítica para N procesos
- 3.6. Problemas de orden de ejecución
- 3.7. Problema del productor-consumidor
- 3.8. Definiciones de semáforos
- 3.9. Problema de la cena de los filósofos
- 4. Monitores
 - 4.1. Introducción
 - 4.2. Declaración y uso de monitores
 - 4.3. Variables de condición
 - 4.4. Problema del productor-consumidor
 - 4.5. Problema de la reanudación inmediata
 - 4.6. Problema del lector-escritor
 - 4.7. Problema de la cena de los filósofos
 - 4.8. Monitores en Scala
- 5. Canales y mensajes
 - 5.1. Modelos de comunicación
 - 5.2. Canales
 - 5.3. Interacción cliente-servidor
 - 5.4. Canales y actores
- 6. Interbloqueos
 - 6.1. Modelo del sistema
 - 6.2. Caracterización de los interbloqueos
 - 6.3. Métodos para el manejo de interbloqueos
 - 6.4. Prevención de interbloqueos
 - 6.5. Cómo evitar interbloqueos
 - 6.6. Detección de interbloqueos

6.7. Recuperación de interbloqueos

7. Programación asíncrona con futuros

7.1. Futuros

7.2. Callbacks

7.3. Composición de futuros

8. Programación avanzada

8.1. Programación paralela

8.2. Programación distribuida

8.3. Memoria transaccional software

6. Cronograma

6.1. Cronograma de la asignatura *

Sem	Actividad tipo 1	Actividad tipo 2	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	<p>Presentación. Tema 1. Introducción a la programación concurrente (RA 184, CT7) Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Tema 2. Abstracción de la PC (RA184, CT7) Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lab 0: Introducción al modelo de prácticas, a los entornos que se utilizarán y a la descarga y utilización de los mismos Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>			
2	<p>Tema 3. El problema de la región crítica (I) (RA185, RA186, CT7) Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lab 1: Programación Concurrente (I) (RA184) Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>			
3	<p>Tema 3. El problema de la región crítica (II) (RA185, RA186, CT7) Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lab 2: Programación Concurrente: Threads (II) (RA184) Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p> <p>Prueba técnica1: Programación concurrente (RA316,RA194,RA315) Duración: 01:00 OT: Otras actividades formativas / Evaluación</p>			<p>Prueba técnica1: Programación concurrente (RA316,RA194,RA315) PIL: Técnica del tipo Presentación Individual en Laboratorio Evaluación Progresiva Presencial Duración: 01:00</p>

4	<p>Tema 4. Semáforos (I) (RA185, RA187, CT7) Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lab 3: Semáforos(I) (RA184, CT7) Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>			
5	<p>Tema 4. Semáforos (II) (RA185, RA187, CT7) Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lab 4: Semáforos (II) (RA185) Duración: 02:00 OT: Otras actividades formativas / Evaluación</p> <p>Prueba Técnica2: Semáforos (RA316,RA194,RA315,RA187) Duración: 01:00 OT: Otras actividades formativas / Evaluación</p>			<p>Prueba técnica2: Semáforos (RA316,RA194,RA315,RA187) PIL: Técnica del tipo Presentación Individual en Laboratorio Evaluación Progresiva Presencial Duración: 01:00</p>
6	<p>Tema 5. Monitores (I) (RA185, RA188, CT7) Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lab 5: Monitores (I) (RA185, RA187) Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>			
7				
8	<p>Tema 5. Monitores (II) (RA185, RA188, CT7) Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lab 6: Monitores (II) (RA185, RA187, CT7) Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p> <p>Prueba técnica 3: Monitores ((RA316,RA194,RA315,RA188)) Duración: 01:00 OT: Otras actividades formativas / Evaluación</p>			<p>Prueba técnica 3: Monitores ((RA316,RA194,RA315,RA188)) PIL: Técnica del tipo Presentación Individual en Laboratorio Evaluación Progresiva Presencial Duración: 01:00</p>
9	<p>EXT1: Prueba de evaluación escrita de temas 1-5 (RA184, RA185, RA186, RA187, CC14) Duración: 01:30 OT: Otras actividades formativas / Evaluación</p> <p>Ejercicios (RA184, RA185, RA186, RA187, CT7, CC14) Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			<p>EXT1: Prueba de evaluación escrita de temas 1-5 (RA184, RA185, RA186, RA187, CC14) EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Progresiva Presencial Duración: 01:30</p>

10	<p>Tema 6. Canales y paso de mensajes (I) (RA185, RA315, CT7) Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lab 7: Monitores (III) (RA185, RA188) Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>			
11	<p>Tema 6. Canales y paso de mensajes (II) (RA185, RA315, CT7) Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lab 8: Actores (I) (RA185, RA315) Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>			
12	<p>Tema 7. Interbloqueos (RA314, CT7) Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lab 10: Actores (II) (RA185, RA315, CT7) Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p> <p>Prueba técnica 4: Actores (RA316, RA194, RA315) Duración: 01:00 OT: Otras actividades formativas / Evaluación</p>			<p>Prueba técnica 4: Actores (RA316, RA194, RA315) PIL: Técnica del tipo Presentación Individual en Laboratorio Evaluación Progresiva Presencial Duración: 01:00</p>
13	<p>Tema 8. Prog. Asíncrona con futuros (I) (RA185, RA315, CT7) Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lab 11: Futuros (RA185, RA315) Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>			
14	<p>Tema 8. Prog. Asíncrona con futuros (II) (RA185, RA315, CT7) Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lab 11: Futuros (RA185, RA315) Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p> <p>Prueba técnica 5: Programación asíncrona (RA316, RA194, RA315) Duración: 01:00 OT: Otras actividades formativas / Evaluación</p>			<p>Prueba técnica 5: Programación asíncrona (RA316, RA194, RA315) PIL: Técnica del tipo Presentación Individual en Laboratorio Evaluación Progresiva Presencial Duración: 01:00</p>

15	<p>Tema 9. Programación avanzada (RA316, CT7) Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lab 12: Programación paralela (RA316, CT7) Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>			
16				
17				<p>EXT2: Prueba de evaluación escrita de temas 5-9 (Todos los RA, CC14) EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Progresiva y Global Presencial Duración: 01:30</p> <p>EXT1: Prueba de evaluación escrita de temas 1-5 (RA184, RA185, RA186, RA187, CC14) EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Global Presencial Duración: 01:30</p>

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
3	Prueba técnica1: Programación concurrente (RA316,RA194,RA315)	PIL: Técnica del tipo Presentación Individual en Laboratorio	Presencial	01:00	6%	0 / 10	CT7 CC14
5	Prueba técnica2: Semáforos (RA316,RA194,RA315,RA187)	PIL: Técnica del tipo Presentación Individual en Laboratorio	Presencial	01:00	6%	0 / 10	CT7 CC14
8	Prueba técnica 3: Monitores ((RA316,RA194,RA315,RA188))	PIL: Técnica del tipo Presentación Individual en Laboratorio	Presencial	01:00	6%	0 / 10	CT7 CC14
9	EXT1: Prueba de evaluación escrita de temas 1-5 (RA184, RA185, RA186, RA187, CC14)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:30	35%	4 / 10	CC14
12	Prueba técnica 4: Actores (RA316,RA194,RA315)	PIL: Técnica del tipo Presentación Individual en Laboratorio	Presencial	01:00	6%	0 / 10	CT7 CC14
14	Prueba técnica 5: Programación asíncrona ((RA316,RA194,RA315))	PIL: Técnica del tipo Presentación Individual en Laboratorio	Presencial	01:00	6%	0 / 10	CT7 CC14
17	EXT2: Prueba de evaluación escrita de temas 5-9 (Todos los RA, CC14)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:30	35%	4 / 10	CT7 CC14

7.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	EXT2: Prueba de evaluación escrita de temas 5-9 (Todos los RA, CC14)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:30	35%	4 / 10	CT7 CC14
17	EXT1: Prueba de evaluación escrita de temas 1-5 (RA184, RA185, RA186, RA187, CC14)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:30	35%	4 / 10	CC14

7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Examen final Teoría evaluación sólo prueba final (Todos los RA, CC14)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:30	70%	4 / 10	CT7 CC14
Examen final de prácticas evaluación sólo prueba final (Todos los RA, CC14)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:30	30%	4 / 10	CT7 CC14

7.2. Criterios de evaluación

La asignatura se compone de dos bloques, uno de teoría y uno de prácticas. Ambos se evaluarán por separado de la siguiente manera:

Evaluación Progresiva

Parte Teoría

Semana 8

ExT1: examen de teoría del primer parcial.

Semana 17

ExT2: examen de teoría del segundo parcial.

AND

IF ExT1

ExT1: examen de teoría de recuperación del parcial 1 (Si un alumno se presenta a recuperar, ésta será su nota de teoría del primer parcial).

Cálculo nota teoría:

IF ExT1 >= 3 AND ExT2 >=4:

$$\text{NotaTeoría} = (\text{ExT1} + \text{ExT2}) / 2$$

ELSE:

NotaTeoría = ?SUSPENSO?

Parte Práctica

Semana 3:

ExP1: PRUEBA TÉCNICA 1 (Concurrencia)

Semana 5:

ExP2: PRUEBA TÉCNICA 2 (Semáforos)

Semana 7:

ExP3: PRUEBA TÉCNICA 3 (Monitores)

Semana 11:

ExP4: PRUEBA TÉCNICA 4 (Actores)

Semana 13:

ExP5: PRUEBA TÉCNICA 5 (Futuros)

Calculo nota de prácticas:

$$\text{NotaPrácticas} = (\text{ExpP1} + \text{ExpP2} + \text{ExpP3} + \text{ExpP4} + \text{ExpP5}) / 5$$

Cálculo de la nota final de PCyA

IF **NotaTeoría** \geq 4:

$$\text{NotaFinalPCA} = 0,7 * \text{NotaTeoría} + 0,3 * \text{NotaPrácticas}$$

ELSE:

$$\text{NotaFinalPCA} = \text{SUSPENSO}$$

Es necesario que **NotaFinalPCA** \geq 5 para aprobar la asignatura.

Nota: En caso de que **NotaTeoría** \geq 4 o **NotaPrácticas** \geq 4, el bloque correspondiente se considera como compensado.

Convocatoria Ordinaria (Evaluación global)

En la convocatoria ordinaria solo se realizará una prueba final de todo el temario de teoría. El algoritmo de evaluación será el siguiente:

ExT1: examen de teoría del primer parcial.

ExT2: examen de teoría del segundo parcial.

Cálculo nota de teoría:

IF **ExT1** \geq 3 AND **ExT2** \geq 4:

$$\text{NotaTeoría} = (\text{ExT1} + \text{ExT2}) / 2$$

ELSE:

$$\text{NotaTeoría} = \text{SUSPENSO}$$

IF **NotaTeoría** \geq 4:

$$\mathbf{NotaFinalPCA} = 0,7 * \mathbf{NotaTeoría} + 0,3 * \mathbf{NotaPrácticas}$$

ELSE:

$$\mathbf{NotaFinalPCA} = \text{SUSPENSO}$$

Convocatoria Extraordinaria

Si el alumno tiene notas compensadas, tendrá la opción de mantener esa nota y únicamente presentarse al bloque que no tenga compensado o que considere necesario. Si el alumno se presenta a una de las partes, ésta será su nota del bloque correspondiente.

La evaluación se realiza de bloque completo, es decir, todo el temario de prácticas o de teoría. Por tanto, se empleará el siguiente algoritmo:

EXGlobalT = Examen Teoría de todo el temario

EXGlobalP = Examen Prácticas de todo el temario

IF Alumno se presenta a **EXGlobalT**:

$$\mathbf{NotaTeoría} = \mathbf{EXGlobalT}$$

IF (**NotaTeoría** \geq 4):

$$\mathbf{NotaFinalTeoría} = \mathbf{NotaTeoría}$$

ELSE:

SUSPENSO

IF Alumno se presenta a **EXGlobalP**:

$$\mathbf{NotaPrácticas} = \mathbf{EXGlobalP}$$

IF (**NotaPrácticas** \geq 4):

NotaFinalPrácticas = **NotaPrácticas**

ELSE:

SUSPENSO

Cálculo de la nota final.

NotaFinalPCA = **NotaFinalTeoría** *0,7 + **NotaFinalPrácticas** *0,3

Se aprueba la asignatura si **NotaFinalPCA** \geq 5.

8. Recursos didácticos

8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Principles of Concurrent and Distributed Programming (2nd. Ed.)	Bibliografía	Ben-Ari (2006); Addison-Wesley. Este libro se utilizará para estudiar la mayor parte de los aspectos básicos de la programación concurrente.
Programación Concurrente 2 Ed	Recursos web	Jorge E. Pérez Martínez, 1990. Ed. Rueda.
Programming in Scala (3rd. Ed.)	Bibliografía	Odersky, Spoon, Venners, 2016; Ed. Artima. Libro para conceptos de programación en Scala.
Learning concurrent programming in Scala, second edition	Bibliografía	Prokopec, 2017; Ed. PACKT. Libro complementario para conceptos de programación concurrente en Scala
The art of multiprocessor programming	Bibliografía	Herlihy, Shavitt, 2012; Ed. Morgan-Kaufmann
Concurrent programming	Bibliografía	Raynal, 2013; Ed. Springer
Plataforma moodle de la asignatura	Recursos web	Moodle del portal de la UPM Virtual
Laboratorio de la ETSISI, con PCs, proyector y pizarra	Equipamiento	Se utilizará para la realización de prácticas.

9. Otra información

9.1. Otra información sobre la asignatura

FORMACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA COMPETENCIA TRANSVERSAL

Esta asignatura tiene asignada la competencia de aprendizaje autónomo. Dado que una parte importante del proceso de aprendizaje se realizará de forma autónoma (aprendizaje activo) que se obtendrá mediante el desarrollo de las prácticas.

Con respecto a los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU (<https://bit.ly//2qk9f28>) esta asignatura utiliza plataformas y lenguajes de acceso gratuito que promueven la consecución del objetivo 10. Reducción de la brecha digital.