



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

**613000115 - Sistemas De Tiempo Real Distribuidos**

### PLAN DE ESTUDIOS

61AG - Master Universitario En Software De Sistemas Distribuidos Y Empotrados

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2022/23 - Segundo 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.....	3
6. Cronograma.....	6
7. Actividades y criterios de evaluación.....	8
8. Recursos didácticos.....	10
9. Otra información.....	11

## 1. Datos descriptivos

---

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	613000115 - Sistemas de Tiempo Real Distribuidos
<b>No de créditos</b>	6 ECTS
<b>Carácter</b>	Obligatoria
<b>Curso</b>	Primer curso
<b>Semestre</b>	Segundo semestre
<b>Período de impartición</b>	Febrero-Junio
<b>Idioma de impartición</b>	Castellano
<b>Titulación</b>	61AG - Master Universitario en Software de Sistemas Distribuidos y Empotrados
<b>Centro responsable de la titulación</b>	61 - Escuela Tecnica Superior De Ingenieria De Sistemas Informaticos
<b>Curso académico</b>	2022-23

## 2. Profesorado

---

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías</b> *
Javier Garcia Martin (Coordinador/a)	D-4419	javier.garciam@upm.es	Sin horario. Se establecerán al inicio del semestre y se publicarán en los canales oficiales de la ETSISI

Jose Carlos Gamazo Real	4307	josecarlos.gamazo@upm.es	Sin horario. Se establecerán al inicio del semestre y se publicarán en los canales oficiales de la ETSISI
-------------------------	------	--------------------------	--

\* 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 Master Universitario en Software de Sistemas Distribuidos y Empotrados no tiene definidas asignaturas previas recomendadas para esta asignatura.

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

- Programación Concurrente
- Sistemas Operativos

### 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

#### 4.1. Competencias

CE01 - Capacidad para la integración de tecnologías y sistemas propios del software de Sistemas Distribuidos y Empotrados en contextos multidisciplinares.

CE07 - Capacidad de diseñar y desarrollar aplicaciones y servicios informáticos en sistemas móviles, de tiempo real, empotrados y ubicuos.

CG04 - Organización y planificación.

CG10 - Resolución de problemas.

## 4.2. Resultados del aprendizaje

RA13 - Trabajando en equipo, propone y construye soluciones a problemas en diferentes campos desde una perspectiva global

RA15 - El alumno utiliza las herramientas de programación que permiten que los procesos de un sistema centralizado o distribuido cumplan restricciones de tiempo real

RA17 - El alumno interviene en cualquiera de las etapas del ciclo de vida de un proyecto de un sistema distribuido y empotrado

RA14 - Identifica y define eficazmente las metas, objetivos y prioridades de una tarea o proyecto complejo a desempeñar a medio o largo plazo. Utiliza herramientas como diagramas de Gantt y/o Pert para planificar actividades y plazos, dimensiona el uso de recursos en el plazo establecido, prioriza las tareas y describe planes de contingencia

RA16 - El alumno aplica los métodos más relevantes de planificación de sistemas de tiempo real, centralizados y distribuidos

RA2 - RA60 Conocer el estado del arte actualizado en el ámbito de los sistemas distribuidos y empotrados

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

Los sistemas de tiempo real (STR) son aquellos en los que existen unos requisitos específicos que limitan el tiempo de respuesta del sistema, de manera que si el sistema se retarda se considera que ha fallado. En muchas ocasiones los STR forman parte de un sistema empotrado que se encarga del control de un entorno físico o un sistema más complejo, de forma que el incumplimiento de un límite en el tiempo de respuesta puede acarrear el deterioro del sistema controlado. Por este motivo el aspecto de seguridad adquiere una relevancia especial en estos sistemas. Con la proliferación de los sistemas distribuidos en los entornos industriales surge una nueva problemática para los STR, debiendo asegurar el cumplimiento de las restricciones temporales en entornos en los que colaboran varias unidades de procesamiento y las correspondientes comunicaciones. Esta asignatura se enfoca hacia el estudio de las tecnologías, metodologías y estándares actuales que permiten el desarrollo de este tipo de sistemas.

La impartición de la asignatura se apoyará en el desarrollo de un proyecto multidisciplinar compartido con otras asignaturas del mismo máster. En particular, se abordará el desarrollo del software del sistema que necesita cumplir las restricciones de tiempo real estricto. Este desarrollo servirá para debatir y estudiar los diferentes aspectos incluidos en el temario.

## 5.2. Temario de la asignatura

### 1. Introducción

- 1.1. Características y necesidades de los STR
- 1.2. Entornos de desarrollo. Núcleos de tiempo real
- 1.3. Introducción a los STR distribuidos

### 2. Programación de STR

- 2.1. Estructura de un STR y herramientas para la programación
- 2.2. Programación de un STR en lenguaje Ada
- 2.3. Programación de un STR basado en un sistema operativo de tiempo real (RTOS)
- 2.4. Esquemas de tareas en un STR

### 3. Planificación

- 3.1. Ejecutivo cíclico
- 3.2. Algoritmos de planificación estática
- 3.3. Análisis de planificabilidad de un sistema
- 3.4. Algoritmos de planificación dinámica

### 4. STR distribuidos

- 4.1. Arquitectura de un STR distribuido
- 4.2. Comunicaciones de tiempo real
- 4.3. Planificación y análisis temporal

### 5. Seguridad en los STR

- 5.1. Conceptos y técnicas de fiabilidad y seguridad
- 5.2. Sistemas de Alta Integridad
- 5.3. Estándares de seguridad: DO-178, EN-50128
- 5.4. Perfiles seguros de lenguajes

### 6. Tecnologías para el desarrollo de STR

- 6.1. Comparativa de lenguajes de programación para STR
- 6.2. Sistemas operativos de tiempo real: Posix para TR; FreeRTOS, VxWorks, RTEMS, linuxRT, MaRTE OS

### 7. Modelado de los STR

7.1. Lenguajes de modelado: UML, SysML

7.2. Diseño detallado: diagrama de bloques

7.3. Modelado del comportamiento: diagrama de máquina de estados (Statecharts)

## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad en aula	Actividad en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	<b>Introducción</b> Duración: 00:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Programación de STR (I)</b> Duración: 01:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Programación de un STR</b> Duración: 03:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	<b>Desarrollo y tutorías del proyecto</b> Duración: 05:00 OT: Otras actividades formativas	<b>Entrega de resolución de ejercicios sobre concurrencia. (Prueba sólo para alumnos que no tengan una formación previa en programación concurrente)</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua No presencial Duración: 00:00
2	<b>Programación de STR (II)</b> Duración: 01:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Desarrollo del proyecto multidisciplinar</b> Duración: 03:30 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	<b>Desarrollo y tutorías del proyecto</b> Duración: 05:00 OT: Otras actividades formativas	
3	<b>Planificación de STR: Introducción y Análisis de tiempo de respuesta</b> Duración: 01:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Desarrollo del proyecto multidisciplinar</b> Duración: 03:30 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	<b>Desarrollo y tutorías del proyecto</b> Duración: 02:30 OT: Otras actividades formativas  <b>Planificación de STR: Análisis generalizado (Clase virtual; material de teoría y ejercicios online)</b> Duración: 01:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Resolución de ejercicios de planificación</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	<b>Resolución de problemas de planificación de STR Distribuidos (I) (RA15, RA16)</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua Presencial Duración: 01:00
4	<b>Sistemas de Tiempo Real Distribuidos</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Desarrollo del proyecto multidisciplinar</b> Duración: 03:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	<b>Desarrollo y tutorías del proyecto</b> Duración: 03:30 OT: Otras actividades formativas  <b>Resolución de ejercicios de planificación de un STR distribuido</b> Duración: 01:30 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	<b>Resolución de problemas de planificación de STR Distribuidos (II) (RA15, RA16)</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua Presencial Duración: 01:00
5	<b>Modelado de STR</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Desarrollo del proyecto multidisciplinar</b> Duración: 03:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	<b>Desarrollo y tutorías del proyecto</b> Duración: 03:30 OT: Otras actividades formativas  <b>Ejercicios de Modelado (Clase virtual; Material online)</b> Duración: 01:30 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	<b>Entrega de Modelado de un STR</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación continua No presencial Duración: 00:00
6	<b>Seguridad en STR</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Estándares de seguridad</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas	<b>Desarrollo y tutorías del proyecto</b> Duración: 01:30 OT: Otras actividades formativas  <b>Visualización de las presentaciones orales virtuales de estudiantes sobre tecnologías para STR</b> Duración: 01:30 OT: Otras actividades formativas	<b>Entrega de la presentación oral (RA2)</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación continua No presencial Duración: 00:00  <b>Trabajo escrito sobre los conceptos teóricos estudiados</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito



			<p><b>Aplicación de estándares de seguridad al proyecto multidisciplinar (RA17)</b>          Duración: 02:00          AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>	<p>Evaluación continua          Presencial          Duración: 00:30</p>
7				<p><b>Entrega del proyecto multidisciplinar (RA13, RA14, RA15, RA16, RA17)</b>          TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo          Evaluación continua          No presencial          Duración: 00:00</p>
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				<p><b>Examen final (RA2, RA13, RA14, RA15, RA16, RA17)</b>          EX: Técnica del tipo Examen Escrito          Evaluación sólo prueba final          No presencial          Duración: 03:00</p> <p><b>Verificación de las prácticas REALIZADAS DURANTE EL PERIODO LECTIVO</b>          OT: Otras técnicas evaluativas          Evaluación sólo prueba final          No presencial          Duración: 00:10</p>
17				

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.

\* El cronograma sigue una planificación teórica de la asignatura y puede sufrir modificaciones durante el curso derivadas de la situación creada por la COVID-19.

## 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
1	Entrega de resolución de ejercicios sobre concurrencia. (Prueba sólo para alumnos que no tengan una formación previa en programación concurrente)	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	00:00	0%	5 / 10	CE07
3	Resolución de problemas de planificación de STR Distribuidos (I) (RA15, RA16)	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	01:00	10%	4 / 10	CG10 CE07
4	Resolución de problemas de planificación de STR Distribuidos (II) (RA15, RA16)	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	01:00	10%	4 / 10	CG10 CE07
5	Entrega de Modelado de un STR	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	00:00	15%	4 / 10	CG10 CE01 CE07
6	Entrega de la presentación oral (RA2)	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	00:00	10%	4 / 10	CE01 CE07
6	Trabajo escrito sobre los conceptos teóricos estudiados	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:30	10%	4 / 10	CE01 CE07
7	Entrega del proyecto multidisciplinar (RA13, RA14, RA15, RA16, RA17)	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	00:00	45%	5 / 10	CG10 CE01 CE07 CG04

#### 7.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
-----	-------------	-----------	------	----------	-----------------	-------------	------------------------

16	Examen final (RA2, RA13, RA14, RA15, RA16, RA17)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	No Presencial	03:00	40%	4 / 10	CG04 CG10 CE01 CE07
16	Verificación de las prácticas REALIZADAS DURANTE EL PERIODO LECTIVO	OT: Otras técnicas evaluativas	No Presencial	00:10	60%	4 / 10	CG04 CG10 CE01 CE07

### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Examen extraordinario (40%) // Verificación de las prácticas REALIZADAS DURANTE EL PERIODO LECTIVO (Peso 60%) (RA2, RA13, RA14, RA15, RA16, RA17)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	100%	5 / 10	CG04 CG10 CE01 CE07

## 7.2. Criterios de evaluación

### - EVALUACIÓN CONTINUA

El estudiante que supere una nota final mayor o igual a 5 mediante las pruebas de evaluación progresiva especificadas en el cronograma no tendrá que presentarse al examen final.

Durante la evaluación progresiva se controlará la asistencia. Para superar la asignatura se deberá haber asistido al menos al 75% de las clases de laboratorio, salvo causas de fuerza mayor y debidamente justificadas.

Las actividades de evaluación: (a) Entrega de Modelado de un STR y (b) Entrega del proyecto multidisciplinar corresponden a las prácticas de laboratorio de la asignatura. Estas actividades se deberán realizar exclusivamente durante el periodo docente y es obligatorio superarlas para aprobar la asignatura.

### - EVALUACIÓN MEDIANTE EXAMEN FINAL

El estudiante que no supere la evaluación progresiva tendrá la posibilidad de aprobar la asignatura en la

convocatoria final de junio mediante un examen escrito en el que se examinará de aquellas partes que no haya superado durante el cuatrimestre, distinguiéndose tres partes: (c) Trabajo escrito sobre los conceptos teóricos estudiados; (d) Resolución de ejercicios; (e) Entrega de la presentación oral.

La convocatoria extraordinaria de julio consistirá en un examen escrito en el que el alumno se podrá evaluar de las mismas partes que en el examen de la convocatoria final de junio: (c), (d) y (e).

Para superar la asignatura en la convocatoria final o extraordinaria, se deberá tener en cuenta que las actividades (a) y (b) son obligatorias para superar la asignatura y se deberán haber realizado durante el cuatrimestre lectivo.

#### - PRERREQUISITOS SOBRE PROGRAMACIÓN CONCURRENTE

Los estudiantes que no tengan una formación previa demostrada en programación concurrente, bien por su formación de grado o por su experiencia profesional, deberán entregar la resolución de unos ejercicios de forma previa a la impartición de la asignatura. Para ello los profesores se pondrán en contacto con estos estudiantes y les facilitarán un material de estudio junto a los ejercicios que deben resolver. La obtención de la nota mínima indicada en el apartado anterior será requisito para la superación de la asignatura.

Estos contenidos permitirán a los estudiantes abordar la realización de las prácticas de laboratorio y alcanzar con mayor éxito los resultados de aprendizaje previstos en la guía de aprendizaje.

## 8. Recursos didácticos

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Real-Time Systems and Programming Languages	Bibliografía	Alan Burns and Andy Wellings   Fourth Edition. 2009. Addison Wesley Longmain  
Real Time Systems	Bibliografía	J.S.W.Liu. Prentice Hall, 2000.

Real-Time Systems, Distributed Embedded Applications	Bibliografía	Kopetz, H., Klower Academic Publishers, 1997, Chpt. 10-11.
Developing Real-time Systems with UML	Bibliografía	Douglass B. P. Addison Wesley, 1999.
Moodle de la UPM	Recursos web	<a href="https://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales/course/view.php?id=6954">https://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales/course/view.php?id=6954</a>
Laboratorio I-4401	Equipamiento	Laboratorio L-4401 del departamento de Sistemas Informáticos con capacidad para 18 puestos de trabajo
Analysable Real-time Systems Programmed in ADA	Bibliografía	Alan Burns, Andy Wellings. Addison Wesley. 2016

## 9. Otra información

---

### 9.1. Otra información sobre la asignatura

#### 1.- COMPETENCIAS TRANSVERSALES

Esta asignatura tiene asignadas las competencias genéricas CG4 (organización y planificación) y CG10 (resolución de problemas).

Además se propone abordar el sub-resultado de aprendizaje 6.2 del sello EuroInf: "Identificar las competencias necesarias para trabajar en equipo y liderar equipos compuestos de personas de distintas disciplinas y distintos niveles de cualificación".

Para desarrollar estas competencias se planteará un problema que esté integrado en el proyecto multidisciplinar. En concreto los alumnos tendrán que desarrollar una parte del proyecto relacionada con la materia de los sistemas de tiempo real.

Los alumnos tendrán que demostrar su capacidad para organizar y planificar el tiempo, las tareas y los recursos necesarios para la resolución de dicho problema, así como explicar la estrategia seguida. Además deberán

demostrar las destrezas necesarias para el trabajo en equipo y el liderazgo. La documentación correspondiente a estas competencias formará parte de la memoria del proyecto. La evaluación se llevará a cabo mediante plantillas de evaluación (o rúbricas)

## 2.- ACTIVIDADES SEMIPRESENCIALES

El máster en el que se imparte esta asignatura se ha calificado como semipresencial. Por este motivo algunas de las tutorías del proyecto se ofrecerán para ser realizadas "online".

Los estudiantes tendrán que resolver diferentes problemas en horas de trabajo personal. Para este trabajo se ofrecerán también tutorías "online" y su entrega forma parte de las actividades de evaluación, tal y como está especificado en la sección 7.1.

Las presentaciones orales (consistentes en el desarrollo de un trabajo de documentación y estudio por parte de los estudiantes) se podrán realizar mediante la grabación de la presentación en horas de trabajo personal. Posteriormente la presentación se subirán a una plataforma virtual, donde será visualizada y puntuada por el resto de los estudiantes.

Durante la semana se ofrecen algunas sesiones virtuales para la resolución de problemas.

## 3.- PREVISIÓN DE SUSPENSIÓN DE CLASES PRESENCIALES

En previsión de posibles recidivas de la epidemia de COVID, la presente guía contempla la impartición de la asignatura en formato bimodal: todas las actividades formativas planificadas inicialmente como actividades presenciales, en caso de ser necesario pasarán a desarrollarse a través de plataformas online

Para las actividades de teleformación se utilizará alguna de las plataformas ofrecidas por la UPM en general o por el CiC de la ETSISI (actualmente Zoom o Teams).

#### 4.- OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Las asignaturas que participan en el proyecto multidisciplinar, intentan que dicho proyecto aborde algún problema relacionado con alguno de los objetivos de desarrollo sostenible.