



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

PROCESO DE  
COORDINACIÓN DE LAS  
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingenieros  
Informaticos

# ANX-PR/CL/001-01

## GUÍA DE APRENDIZAJE

### ASIGNATURA

**103000609 - Sistemas Empotrados Y Ubicuos**

### PLAN DE ESTUDIOS

10AN - Master Universitario En Ingenieria Informatica

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2023/24 - Primer semestre

## Índice

---

### Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Competencias y resultados de aprendizaje.....	2
4. Descripción de la asignatura y temario.....	3
5. Cronograma.....	6
6. Actividades y criterios de evaluación.....	9
7. Recursos didácticos.....	14
8. Otra información.....	15

## 1. Datos descriptivos

---

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	103000609 - Sistemas Empotrados y Ubicuos
<b>No de créditos</b>	4.5 ECTS
<b>Carácter</b>	Obligatoria
<b>Curso</b>	Primer curso
<b>Semestre</b>	Primer semestre
<b>Período de impartición</b>	Septiembre-Enero
<b>Idioma de impartición</b>	Castellano
<b>Titulación</b>	10AN - Master Universitario en Ingeniería Informatica
<b>Centro responsable de la titulación</b>	10 - Escuela Tecnica Superior De Ingenieros Informaticos
<b>Curso académico</b>	2023-24

## 2. Profesorado

---

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías</b> *
Fernando Perez Costoya (Coordinador/a)	4201	fernando.perez@upm.es	Sin horario.
Fco Javier Rosales Garcia	4204	francisco.rosales@upm.es	Sin horario.
Jose Luis Pedraza Dominguez	4105	joseluis.pedraza@upm.es	Sin horario.

Angel Grover Perez Muñoz	4104	angel.perez.munoz@upm.es	Sin horario.
--------------------------	------	--------------------------	--------------

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

## 3. Competencias y resultados de aprendizaje

---

### 3.1. Competencias

CE11 - Capacidad de diseñar y desarrollar sistemas, aplicaciones y servicios informáticos en sistemas empotrados y ubicuos.

CE16 - Habilidad para hacer conexiones entre los deseos y necesidades del consumidor o cliente y lo que la tecnología puede ofrecer

CE17 - Capacidad para decidir entre adquirir, desarrollar o aplicar tecnología a lo largo de la amplia gama de categorías de procesos, productos y servicios de una empresa o institución

CE18 - Capacidad para comprender el mercado, sus hábitos y necesidades de productos o servicios tecnológicos

CE19 - Capacidad para desarrollar e implantar una solución informática en un entorno empresarial

CE4 - Capacidad para modelar, diseñar, definir la arquitectura, implantar, gestionar, operar, administrar y mantener aplicaciones, redes, sistemas, servicios y contenidos informáticos.

### 3.2. Resultados del aprendizaje

RA89 - Analizar al comportamiento temporal de un sistema de tiempo real.

RA86 - Realizar el diseño arquitectónico de aplicaciones empotradas teniendo en cuenta requisitos no funcionales.

RA88 - Seleccionar una plataforma hardware que cumpla los requisitos para un sistema dado.

RA90 - Realizar la parametrización y adaptación de un sistema operativo para alcanzar objetivos específicos: algoritmos de planificación de procesador y de otros recursos, tanto a nivel local como distribuido

RA87 - Seleccionar un sistema operativo que cumpla los requisitos no funcionales para un sistema dado.

RA91 - Realizar el diseño de aplicaciones y sistemas ubicuos.

## 4. Descripción de la asignatura y temario

---

### 4.1. Descripción de la asignatura

Un sistema empotrado es un sistema informático que se encuentra físicamente incluido en un sistema de ingeniería más amplio al que supervisa o controla. Los sistemas empotrados se encuentran en multitud de aplicaciones, desde la electrónica de consumo hasta el control de complejos procesos industriales.

Están presentes en prácticamente todos los aspectos de nuestra sociedad como, teléfonos móviles, automóviles, control de tráfico, ingenios espaciales, procesos automáticos de fabricación, producción de energía, aeronaves, etc. Además, el número de sistemas empotrados está en constante aumento, ya que cada vez más máquinas se fabrican incluyendo un número mayor de sistemas controlados por computador. Un ejemplo cercano es la industria del automóvil, ya que un turismo actual de gama media incluye alrededor de dos docenas de estos automatismos (ABS, airbag, etc.).

Otro ejemplo cotidiano son los electrodomésticos de nueva generación, que incluyen sistemas empotrados para su control y temporización. Hoy día son tantas las aplicaciones de estos sistemas que son mucho más numerosos que los sistemas informáticos "convencionales" o de propósito general. Actualmente estos sistemas están en "todas partes" dando lugar a los llamados sistemas ubicuos. Las funciones de supervisión, control y adquisición de datos son cada vez más complejas y ya no interaccionan únicamente con el mundo físico mediante sensores y actuadores sino con otros computadores a través de líneas de comunicación dando lugar a lo que se conoce como sistemas ciberfísicos (CSP) que son la fuente de datos del escenario llamado internet de las cosas (IoT).

La omnipresencia de la Internet de las cosas en nuestra sociedad es imparable. Como consecuencia de esta tremenda explosión, en los próximos años, una parte significativa del Big Data estará dedicado al procesamiento de datos de dispositivos IoT. Este tipo de análisis de datos presenta retos específicos, al tratarse de un enorme volumen de información que se genera en tiempo real, que se estudiarán en esta asignatura.

## 4.2. Temario de la asignatura

1. Introducción y conceptos básicos
  - 1.1. Visión general
  - 1.2. Características principales
  - 1.3. Arquitectura genérica de un sistema empotrado
  - 1.4. Ejemplos de dominios de aplicación
2. Diseño y desarrollo de sistemas empotrados
  - 2.1. Herramientas
  - 2.2. Lenguajes de programación
  - 2.3. Sistemas operativos y núcleos de ejecución
  - 2.4. Desarrollo cruzado
  - 2.5. Clases prácticas
3. Programación de dispositivos
  - 3.1. Modos de operación de los dispositivos
  - 3.2. Modelo de memoria de los dispositivos
  - 3.3. Configuración de los dispositivos
  - 3.4. Aspectos de sincronización
  - 3.5. Manejadores de dispositivos
  - 3.6. Módulos del núcleo en Linux
4. Sistemas operativos para sistemas empotrados
  - 4.1. Sistemas operativos empotrados
  - 4.2. Sistemas operativos de tiempo real
  - 4.3. Hipervisores empotrados
5. Hardware para sistemas empotrados
  - 5.1. Componentes hardware
  - 5.2. Entradas/Salidas/Convertidores de señal
  - 5.3. Procesadores
  - 5.4. Computadores modulares

## 6. Sistemas de tiempo real

### 6.1. Introducción

### 6.2. Características

### 6.3. Planificación y acceso a recursos compartidos

### 6.4. Casos de estudio

## 7. Computación ubicua y la Internet de las cosas

### 7.1. La visión de Mark Weiser

### 7.2. Computación "context-aware"

### 7.3. Espacios inteligentes de interacción

### 7.4. Sistemas de localización

### 7.5. Interfaces de usuario ubicuas

### 7.6. Internet de las cosas (IoT)

### 7.7. Arquitectura de los sistemas IoT

### 7.8. IoT Edge

### 7.9. Plataformas Cloud para IoT

### 7.10. Aspectos de seguridad y privacidad

## 5. Cronograma

### 5.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad en aula	Actividad en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	<p><b>Presentación de la asignatura</b> Duración: 00:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Introducción</b> Duración: 01:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
2	<p><b>Introducción</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
3	<p><b>Diseño y desarrollo de sistemas empotrados</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
4	<p><b>Diseño y desarrollo de sistemas empotrados</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	<p><b>Diseño y desarrollo de sistemas empotrados</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
5	<p><b>Programación de dispositivos</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	<p><b>Diseño y desarrollo de sistemas empotrados</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
6	<p><b>Programación de dispositivos</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	<p><b>Programación de dispositivos</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
7	<p><b>Sistemas operativos para sistemas empotrados</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
8	<p><b>Sistemas operativos para sistemas empotrados</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	<p><b>Sistemas operativos para sistemas empotrados</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
9	<p><b>Hardware para sistemas empotrados</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
10	<p><b>Hardware para sistemas empotrados</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			



11	<b>Sistemas operativos para tiempo real</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
12	<b>Sistemas operativos para tiempo real</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
13	<b>Computación ubicua e IoT</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
14	<b>Computación ubicua e IoT</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
15	<b>Computación ubicua e IoT</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
16	<b>Computación ubicua e IoT</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
17				<p><b>Entrega de la práctica de diseño y desarrollo de sistemas empotrados</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 00:00</p> <p><b>Entrega de la práctica de programación de dispositivos</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 00:00</p> <p><b>Entrega de la práctica de computación ubicua e IoT</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 00:00</p> <p><b>Entrega del proyecto</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 00:00</p> <p><b>Evaluación diseño y desarrollo sistemas empotrados</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 00:20</p> <p><b>Evaluación programación de dispositivos</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 00:20</p> <p><b>Evaluación sistemas operativos para sistemas empotrados</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito</p>

				<p>Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 00:20</p> <p><b>Evaluación hardware para sistemas empotrados</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 00:20</p> <p><b>Evaluación sistemas operativos de tiempo real</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 00:20</p> <p><b>Evaluación computación ubicua e IoT</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 00:20</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.

\* 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.

## 6. Actividades y criterios de evaluación

### 6.1. Actividades de evaluación de la asignatura

#### 6.1.1. Evaluación (progresiva)

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	Entrega de la práctica de diseño y desarrollo de sistemas empotrados	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	00:00	4%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
17	Entrega de la práctica de programación de dispositivos	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	00:00	4%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
17	Entrega de la práctica de computación ubicua e IoT	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	00:00	4%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
17	Entrega del proyecto	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	00:00	40%	4 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
17	Evaluación diseño y desarrollo sistemas empotrados	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:20	8%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
17	Evaluación programación de dispositivos	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:20	8%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17

17	Evaluación sistemas operativos para sistemas empotrados	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:20	8%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
17	Evaluación hardware para sistemas empotrados	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:20	8%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
17	Evaluación sistemas operativos de tiempo real	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:20	8%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
17	Evaluación computación ubicua e IoT	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:20	8%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17

### 6.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	Entrega de la práctica de diseño y desarrollo de sistemas empotrados	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	00:00	4%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
17	Entrega de la práctica de programación de dispositivos	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	00:00	4%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
17	Entrega de la práctica de computación ubicua e IoT	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	00:00	4%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17

17	Entrega del proyecto	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	00:00	40%	4 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
17	Evaluación diseño y desarrollo sistemas empotrados	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:20	8%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
17	Evaluación programación de dispositivos	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:20	8%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
17	Evaluación sistemas operativos para sistemas empotrados	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:20	8%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
17	Evaluación hardware para sistemas empotrados	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:20	8%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
17	Evaluación sistemas operativos de tiempo real	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:20	8%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
17	Evaluación computación ubicua e IoT	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:20	8%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17

### 6.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Entrega del proyecto	PG: Técnica del tipo Presentación en Grupo	Presencial	00:00	40%	4 / 10	CE4 CE19 CE11 CE18 CE16 CE17
Evaluación diseño y desarrollo de sistemas empotrados	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:00	8%	0 / 10	CE4 CE19 CE11 CE18 CE16
Evaluación de programación de dispositivos	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:20	8%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
Evaluación sistemas operativos para sistemas empotrados	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:20	8%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
Evaluación de hardware para sistemas empotrados	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:20	8%	0 / 10	CE19 CE11 CE4 CE18 CE16 CE17
Evaluación de sistemas operativos de tiempo real	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:20	8%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
Evaluación de computación ubicua e IoT	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:00	8%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
Entrega de la práctica de diseño y desarrollo de sistemas empotrados	PG: Técnica del tipo Presentación en Grupo	Presencial	00:00	4%	0 / 10	CE4 CE19 CE18 CE16 CE17 CE11

Entrega de la práctica de programación de dispositivos	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:00	4%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17
Entrega de la práctica de computación ubicua e IoT	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:00	4%	0 / 10	CE11 CE4 CE19 CE18 CE16 CE17

## 6.2. Criterios de evaluación

La asignatura consta de tres partes: teoría, con un peso del 48%, prácticas, con un peso del 12%, y proyecto, con un peso del 40%. Para aprobar la asignatura se debe alcanzar un 5 en el promedio ponderado de las tres partes, según se detalla a continuación.

### Evaluación de la parte teórica:

Está organizada en 6 partes independientes con un peso cada una del 8% sobre la nota total: diseño y desarrollo de sistemas empotrados, programación de dispositivos, sistemas operativos para sistemas empotrados, hardware para sistemas empotrados, sistemas operativos de tiempo real y computación ubicua. Cada una de estas partes se evaluará, en principio, con un ejercicio escrito, que se realizará tanto en la convocatoria ordinaria como en la extraordinaria, teniéndose en cuenta la mejor nota obtenida. Alternativamente, para algunas de estas partes, este ejercicio puede sustituirse por un trabajo de carácter individual. No existe una nota mínima en cada parte, pero la nota total de teoría, que corresponde a la media de las 6 partes, tiene que ser mayor o igual que 4.

### Evaluación de las prácticas de laboratorio:

Habrán tres, que se podrán entregar en ambas convocatorias, con un peso de cada una del 4% sobre la nota total, no existiendo una nota mínima. La primera, relacionada con el diseño y desarrollo de sistemas empotrados, es de desarrollo en pareja, las otras dos, sobre la programación de dispositivos y la computación ubicua, se realizarán de forma individual.

## Evaluación del proyecto:

Es de desarrollo en pareja con un peso del 40% sobre la nota total. Se podrá entregar en ambas convocatorias. Requiere una nota mínima mayor o igual a 4.

Cualquier actividad superada se convierte en un bloque liberado de forma indefinida.

## 7. Recursos didácticos

---

### 7.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Jonathan Corbet, Alessandro Rubini, and Greg Kroah- Hartman. Linux Device Drivers. O'Reilly.	Bibliografía	
Alan Burns and Andy Wellings. Real-Time Systems and Programming Languages. Addison-Wesley.	Bibliografía	
Distributed Systems: Concepts and Design. G. Coulouris, J. Dollimore, T. Kindberg, Addison-Wesley.	Bibliografía	
John Barnes, High Integrity Software: The SPARK Approach to Safety and Security. Addison Wesley.	Bibliografía	
A. S. Berger. Embedded Systems Design: An Introduction to Processes, Tools and Techniques. Lawrence, KA: CMP Books.	Bibliografía	
Moodle de la asignatura	Recursos web	Página web de la asignatura



Aula informática.	Equipamiento	Aula informática para clases prácticas
-------------------	--------------	--

## 8. Otra información

---

### 8.1. Otra información sobre la asignatura

#### Objetivos de desarrollo sostenible.

Los sistemas empotrados y ubicuos son la base del llamado "Internet de las cosas" (IoT) y tienen un impacto considerable en varios de los objetivos de desarrollo sostenible como el 3 "Salud y bienestar", 6 "Agua limpia y saneamiento", 9 "Industria, innovación e infraestructuras", 11 "Ciudades y comunidades sostenibles" y 12 "Producción y consumo responsable".

Particularizando en el 11 "Ciudades y comunidades sostenibles" son fundamentales en cuanto supervisan y controlan diversos aspectos de las ciudades y sus áreas metropolitanas, tales como suministros, transportes y, en general, todas sus infraestructuras. Concretando en alguna de sus metas:

11.2 De aquí a 2030, proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial, en particular mediante la ampliación del transporte público, prestando especial atención a las necesidades de las personas en situación de vulnerabilidad, las mujeres, los niños, las personas con discapacidad y las personas de edad

11.5 De aquí a 2030, reducir significativamente el número de muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad

11.6 De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per capita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo