



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

PROCESO DE  
COORDINACIÓN DE LAS  
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingenieros de  
Telecomunicacion

# ANX-PR/CL/001-01

## GUÍA DE APRENDIZAJE

### ASIGNATURA

**95000044 - Comunicaciones Moviles**

### PLAN DE ESTUDIOS

09TT - Grado En Ingenieria De Tecnologias Y Servicios De Telecomunicacion

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2023/24 - 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.....	8
7. Actividades y criterios de evaluación.....	11
8. Recursos didácticos.....	14
9. Otra información.....	16

## 1. Datos descriptivos

---

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	95000044 - Comunicaciones Moviles
<b>No de créditos</b>	6 ECTS
<b>Carácter</b>	Optativa
<b>Curso</b>	Cuarto curso
<b>Semestre</b>	Octavo semestre
<b>Período de impartición</b>	Febrero-Junio
<b>Idioma de impartición</b>	Castellano
<b>Titulación</b>	09TT - Grado en Ingenieria de Tecnologias y Servicios de Telecomunicacion
<b>Centro responsable de la titulación</b>	09 - Escuela Tecnica Superior De Ingenieros De Telecomunicacion
<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>
Luis Mendo Tomas (Coordinador/a)	C-425	luis.mendo@upm.es	Sin horario. Concertar cita por correo electrónico

\* 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

- Señales Y Sistemas
- Señales Aleatorias
- Teoria De La Comunicacion
- Radiocomunicaciones

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

El plan de estudios Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicacion no tiene definidos otros conocimientos previos para esta asignatura.

## 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

### 4.1. Competencias

CE-ST1 - Capacidad para construir, explotar y gestionar las redes, servicios, procesos y aplicaciones de telecomunicaciones, entendidas éstas como sistemas de captación, transporte, representación, procesado, almacenamiento, gestión y presentación de información multimedia, desde el punto de vista de los sistemas de transmisión

CE-ST2 - Capacidad para aplicar las técnicas en que se basan las redes, servicios y aplicaciones de telecomunicación tanto en entornos fijos como móviles, personales, locales o a gran distancia, con diferentes anchos de banda, incluyendo telefonía, radiodifusión, televisión y datos, desde el punto de vista de los sistemas de transmisión

CE-ST5 - Capacidad para la selección de antenas, equipos y sistemas de transmisión, propagación de ondas guiadas y no guiadas, por medios electromagnéticos, de radiofrecuencia u ópticos y la correspondiente gestión del espacio radioeléctrico y asignación de frecuencias

## 4.2. Resultados del aprendizaje

RA259 - Conocer el funcionamiento de herramientas de monitorización de la interfaz radio en sistemas de comunicaciones móviles

RA256 - Conocer las características de la propagación de ondas de radio en comunicaciones móviles y su impacto sobre el funcionamiento y el diseño de los sistemas

RA257 - Comprender el funcionamiento de las diferentes modalidades de redes celulares

RA260 - Ser capaz de aprender de forma autónoma

RA258 - Conocer las especificaciones y el funcionamiento de los sistemas más representativos de Segunda, Tercera y Cuarta Generación

RA255 - Comprender el funcionamiento de la interfaz radio de los sistemas de comunicaciones móviles

RA254 - Comprender los fundamentos de los sistemas de comunicaciones móviles

RA261 - Tener creatividad en los aspectos técnicos relacionados con la asignatura

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

La asignatura pretende que el alumno:

- Comprenda los fundamentos de los sistemas de comunicaciones móviles, y en particular en lo que respecta a la interfaz radio;
- Conozca de forma detallada el funcionamiento de los sistemas y de las tecnologías radio utilizadas actualmente;
- Practique el manejo de herramientas de medida y monitorización de la interfaz radio en redes móviles.

## 5.2. Temario de la asignatura

### 1. Introducción

- 1.1. Conceptos generales
- 1.2. Composición de un sistema de comunicaciones móviles
- 1.3. Clasificación. Bandas de frecuencias
- 1.4. Visión general de los sistemas de comunicaciones móviles

### 2. Fundamentos de la interfaz radio en comunicaciones móviles

- 2.1. Modelo energético
- 2.2. Modulaciones utilizadas en comunicaciones móviles
- 2.3. Codificación de canal en comunicaciones móviles
- 2.4. Acceso múltiple y multiplexación

### 3. Propagación en comunicaciones móviles

- 3.1. Caracterización del fenómeno de propagación
- 3.2. Atenuación: modelos de cálculo
- 3.3. Desvanecimiento por sombra
- 3.4. Desvanecimiento por multitrayecto. Diversidad. Distorsión.

### 4. Sistemas celulares clásicos

- 4.1. Concepto celular clásico
- 4.2. Arquitectura general. Funciones relacionadas con la movilidad

### 5. Sistema GSM

- 5.1. Organismos de estandarización. Evolución de los sistemas de comunicaciones móviles: generaciones. Origen de GSM
- 5.2. Arquitectura de red. Entidades funcionales. Zonas e identidades
- 5.3. Interfaz radio: características generales. Canales físicos y lógicos. Estructura TDMA. Estructura de las ráfagas
- 5.4. Modulación, codificación, entrelazado
- 5.5. Gestión de recursos radio: avance temporal, control de potencia, transmisión discontinua, salto en frecuencia
- 5.6. Protocolos. Funcionamiento de los canales radio. Gestión de movilidad. Gestión de la comunicación.

## Servicios

### 5.7. Evolución de GSM

## 6. Sistema GPRS

### 6.1. Origen de GPRS

### 6.2. Arquitectura de red

### 6.3. Interfaz radio. Canales físicos y lógicos. Estructura TDMA

### 6.4. Métodos de codificación de canal

### 6.5. Protocolos. Gestión de recursos radio, de movilidad y de sesión

## 7. Sistemas celulares CDMA

### 7.1. Fundamentos de espectro ensanchado

### 7.2. Fundamentos de CDMA

### 7.3. Características de los sistemas celulares CDMA

## 8. Sistema UMTS

### 8.1. Origen de UMTS. Características de la Tercera Generación

### 8.2. Arquitectura de red

### 8.3. Interfaz radio: características generales. Ensanchamiento espectral. Canales físicos, lógicos y de transporte. Estructura de tramas

### 8.4. Adaptación de tasa, modulación, codificación, entrelazado

### 8.5. Gestión de recursos radio: control de potencia, traspaso con continuidad, informes de medidas, uso de PCH y PICH, uso de PRACH y AICH, modo comprimido, diversidad de transmisión

### 8.6. Protocolos. Estados de conexión. Información de sistema. Gestión de movilidad. Servicios

### 8.7. Evolución de UMTS

## 9. Fundamentos de evolución de la Tercera Generación

### 9.1. OFDM

### 9.2. HARQ con combinación de retransmisiones

### 9.3. Adaptación al canal radio

### 9.4. Planificación de usuarios dependiente del canal radio

### 9.5. MIMO

### 9.6. Bandas de frecuencias milimétricas

## 10. Sistema HSDPA

10.1. Origen de HSDPA

10.2. Modificaciones en la red

10.3. Canales físicos

10.4. Modulación, codificación, adaptación de tasa

10.5. Gestión de recursos radio: HARQ con combinación, adaptación de tasa binaria al estado del canal, planificación de usuarios, traspaso

10.6. Protocolos

10.7. HSDPA+

## 11. Sistema LTE

11.1. Origen de LTE. Objetivos de diseño

11.2. Arquitectura de red

11.3. Interfaz radio. Características generales

11.4. Canales en la interfaz radio

11.5. Modulación, codificación, transmisión multiantena

11.6. Gestión de recursos radio: acceso aleatorio, aviso, adaptación de tasa binaria, HARQ con combinación, planificación de usuarios, control de potencia, medidas

11.7. Protocolos. Estados de conexión

11.8. Evolución de LTE: LTE-A, LTE-M, NB-IoT

## 12. Sistema NR

12.1. Origen de NR. Objetivos de diseño

12.2. Arquitectura de red

12.3. Interfaz radio. Características generales

12.4. Canales en la interfaz radio

12.5. Modulación, codificación, transmisión multiantena

12.6. Gestión de recursos radio. Acceso aleatorio. Avisos. Gestión de haces. Adaptación de tasa binaria. Control de potencia. Medidas

12.7. Protocolos. Estados de conexión. Gestión de movilidad. Información de sistema

## 13. Prácticas de Laboratorio

13.1. Analizador de espectros

13.2. Interfaz radio I

13.3. Interfaz radio II

13.4. Interfaz radio III

## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad en aula	Actividad en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	<p><b>Presentación. Tema 1</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 2</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 3</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
2	<p><b>Tema 3</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
3	<p><b>Tema 3</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 4</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
4	<p><b>Tema 4</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 5</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
5	<p><b>Tema 5</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	<p><b>Práctica 1</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
6	<p><b>Tema 5</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	<p><b>Práctica 1</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
7	<p><b>Tema 6</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 7</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	<p><b>Práctica 2</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		<p><b>Entrega de práctica</b> OT: Otras técnicas evaluativas Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 00:00</p>

8	<p><b>Tutorías previas al examen</b> Duración: 00:00 OT: Otras actividades formativas</p>			<p><b>Prueba de seguimiento</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 02:00</p>
9	<p><b>Tema 7</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			<p><b>Entrega de práctica</b> OT: Otras técnicas evaluativas Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 00:00</p>
10	<p><b>Tema 7</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 8</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
11	<p><b>Tema 8</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
12	<p><b>Tema 8</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 9</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
13	<p><b>Tema 9</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 10</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	<p><b>Práctica 3</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
14	<p><b>Tema 11</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
15	<p><b>Tema 11</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 12</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			<p><b>Entrega de práctica</b> OT: Otras técnicas evaluativas Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 00:00</p>
16	<p><b>Tema 12</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	<p><b>Práctica 4</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		<p><b>Entrega de práctica</b> OT: Otras técnicas evaluativas Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 00:00</p>
17				<p><b>Examen final</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Presencial Duración: 03:00</p> <p><b>Prueba de seguimiento</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 02:00</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.

## 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
7	Entrega de práctica	OT: Otras técnicas evaluativas	No Presencial	00:00	6.25%	/ 10	CE-ST1 CE-ST2 CE-ST5
8	Prueba de seguimiento	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	37.5%	3 / 10	CE-ST1 CE-ST2 CE-ST5
9	Entrega de práctica	OT: Otras técnicas evaluativas	No Presencial	00:00	6.25%	/ 10	CE-ST1 CE-ST2 CE-ST5
15	Entrega de práctica	OT: Otras técnicas evaluativas	No Presencial	00:00	6.25%	/ 10	
16	Entrega de práctica	OT: Otras técnicas evaluativas	No Presencial	00:00	6.25%	/ 10	
17	Prueba de seguimiento	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	37.5%	3 / 10	

#### 7.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
7	Entrega de práctica	OT: Otras técnicas evaluativas	No Presencial	00:00	6.25%	/ 10	CE-ST1 CE-ST2 CE-ST5
9	Entrega de práctica	OT: Otras técnicas evaluativas	No Presencial	00:00	6.25%	/ 10	CE-ST1 CE-ST2 CE-ST5
15	Entrega de práctica	OT: Otras técnicas evaluativas	No Presencial	00:00	6.25%	/ 10	

16	Entrega de práctica	OT: Otras técnicas evaluativas	No Presencial	00:00	6.25%	/ 10	
17	Examen final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	75%	4 / 10	CE-ST1 CE-ST2 CE-ST5

### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Entrega de práctica	OT: Otras técnicas evaluativas	Presencial	00:00	6.25%	/ 10	CE-ST1 CE-ST2 CE-ST5
Entrega de práctica	OT: Otras técnicas evaluativas	Presencial	00:00	6.25%	/ 10	CE-ST1 CE-ST2 CE-ST5
Entrega de práctica	OT: Otras técnicas evaluativas	Presencial	00:00	6.25%	/ 10	CE-ST1 CE-ST2 CE-ST5
Entrega de práctica	OT: Otras técnicas evaluativas	Presencial	00:00	6.25%	/ 10	CE-ST1 CE-ST2 CE-ST5
Examen final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	75%	4 / 10	CE-ST1 CE-ST2 CE-ST5

## 7.2. Criterios de evaluación

Los estudiantes serán evaluados, por defecto, mediante evaluación progresiva.

La evaluación comprobará si los estudiantes han adquirido las competencias de la asignatura. Por tanto, la evaluación mediante prueba final usará los mismos tipos de técnicas evaluativas que se usan en la evaluación progresiva (EX, ET, TG, etc.), y se realizarán en las fechas y horas de evaluación final aprobadas por la Junta de Escuela para el presente curso y semestre, salvo aquellas actividades de evaluación de resultados del aprendizaje de difícil calificación en una prueba final. En este caso, se podrán realizar dichas actividades de evaluación a lo largo del curso.

Las prácticas de laboratorio, con las correspondientes entregas de memorias de prácticas, son **actividades obligatorias no recuperables**. La realización de las prácticas se considera indispensable para la formación del alumno, y permite complementar los conocimientos adquiridos de forma teórica. Las fechas concretas de entrega de las memorias de prácticas se anunciarán con al menos catorce días de antelación.

La evaluación en la convocatoria extraordinaria se realizará exclusivamente a través del sistema de prueba final.

La calificación de la asignatura mediante **evaluación progresiva** se realizará del siguiente modo:

**37.5% del primer control de seguimiento de la asignatura +**

**25% del trabajo personal en laboratorio y entrega de prácticas +**

**37.5% del segundo control de seguimiento de la asignatura**

La **nota mínima** de cada prueba de seguimiento es **3**. La nota de la primera prueba se podrá recuperar mediante evaluación global. Además, la **nota mínima** de la media de los dos controles es **4**.

La calificación mediante **prueba final** se obtendrá de acuerdo a la siguiente fórmula:

**25% nota de laboratorio +**

**75% nota examen final**

La **nota mínima** del examen final es **4**.

Para todos los alumnos que tengan que acudir al examen **extraordinario** de la asignatura la calificación final se obtendrá como:

**25% nota de laboratorio +**

**75% nota examen final**

La **nota mínima** del examen extraordinario es **4**.

**Liberación del bloque de prácticas:** la nota de laboratorio se mantiene durante todas las convocatorias del curso actual, y en su caso, si el estudiante lo desea, del curso siguiente.

## 8. Recursos didácticos

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
<a href="http://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales">http://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales</a>	Recursos web	Página de la asignatura en Moodle
José María Hernando, Luis Mendo, José Manuel Riera. Comunicaciones Móviles. Editorial Universitaria Ramón Areces, tercera edición, 2015.	Bibliografía	Libro de texto de la asignatura
Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld y Per Beming. 3G Evolution. HSPA and LTE for Mobile Broadband. Academic Press, segunda edición, 2008.	Bibliografía	
Erik Dahlman, Stefan Parkvall y Johan Sköld. 4G. LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband. Academic Press, segunda edición, 2014	Bibliografía	

Chris Johnson. LTE in Bullets, segunda edición, 2012	Bibliografía	
Chris Johnson. Radio Access Networks for UMTS. John Wiley and sons, 2008.	Bibliografía	
D. Tse, P. Viswanath. Fundamentals of Wireless Communication. Cambridge University Press, 2005.	Bibliografía	
Oriol Sallent, Jordi Pérez. Fundamentos de Diseño y Gestión de Sistemas de Comunicaciones Móviles Celulares. Iniciativa Digital Politécnica, 2014	Bibliografía	
Harri Holma y Anti Toskala (editores). WCDMA for UMTS, 5ª edición. John Wiley and sons, 2010.	Bibliografía	
Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld. 5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology. Academic Press, 2018	Bibliografía	

## 9. Otra información

---

### 9.1. Otra información sobre la asignatura

Las semanas de realización de las prácticas están sujetas a la organización de los laboratorios docentes, en coordinación con otras asignaturas. En caso de haber cambios se avisarán con antelación.