

**Tratamiento Digital de Señal**

Código: 102687  
Créditos ECTS: 12

Titulación	Tipo	Curso	Semestre
2500898 Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación	OB	3	1

**Contacto**

Nombre: José A. Lopez Salcedo  
Correo electrónico: jose.salcedo@uab.cat

**Uso de idiomas**

Lengua vehicular mayoritaria: inglés (eng)  
Algún grupo íntegramente en inglés: No  
Algún grupo íntegramente en catalán: No  
Algún grupo íntegramente en español: No

**Equipo docente**

Francisco Jose Fabra Cervellera

**Prerequisitos**

Se recomienda haber cursado con aprovechamiento las asignaturas de Cálculo, Álgebra, Estadística, Señales y Sistemas Discretos, así como Fundamentos de Comunicaciones.

**Objetivos y contextualización**

Una vez cursada la asignatura, el alumno tendrá que ser capaz de:

- Utilizar con facilidad el álgebra de vectores y matrices.
- Operar con series numéricas y procesos estocásticos.
- Manipular con rigor diferentes herramientas probabilísticas.
- Estimar los parámetros de un modelo a partir de las muestras de señal observadas a su salida.
- Estimar la densidad espectral de potencia de un proceso aleatorio.
- Diseñar filtros óptimos en el sentido MMSE e implementarlos de forma eficiente mediante algoritmos iterativos/adaptativos.
- Aplicar técnicas de procesamiento de señal a situaciones reales.

**Competencias**

- Actitud personal
- Aplicar técnicas de procesamiento de señal determinístico y estocástico en el diseño de subsistemas de comunicaciones y en el análisis de datos.
- Aprender nuevos métodos y tecnologías en base a sus conocimientos básicos y tecnológicos, con gran versatilidad de adaptación a nuevas situaciones.
- Hábitos de pensamiento
- Hábitos de trabajo personal
- Realizar mediciones, cálculos, valoraciones, tasaciones, peritaciones, estudios, informes, planificación de tareas y otros trabajos análogos en el ámbito de los sistemas de telecomunicación.

## Resultados de aprendizaje

1. Adaptar los conocimientos y técnicas del tratamiento digital de señal en función de las características de los sistemas y servicios de comunicación así como de los escenarios de trabajo, ya sean fijos o móviles.
2. Adaptarse a situaciones imprevistas.
3. Analizar las ventajas y desventajas de diferentes alternativas tecnológicas o de implementación de sistemas de comunicaciones desde el punto de vista del tratamiento digital de señal.
4. Analizar y especificar los parámetros fundamentales de los subsistemas de comunicaciones desde el punto de vista de la transmisión, recepción y tratamiento digital de señales.
5. Aplicar el filtrado estadístico adaptativo y la teoría de control en el diseño de algoritmos dinámicos para la codificación, procesamiento y transmisión de información multimedia. Aplicar el procesamiento de señal multicanal en el diseño de sistemas de comunicaciones fijos y móviles basados en agrupaciones de antenas.
6. Aplicar el procesamiento de señal estadístico para la estimación de parámetros de sincronización en receptores digitales de comunicaciones y de radionavegación.
7. Aplicar la teoría de la detección y la teoría de la estimación en el diseño de receptores de comunicaciones.
8. Aprender de manera autónoma nuevos conocimientos relacionados con el procesamiento digital de señal orientados a la concepción y desarrollo de sistemas de comunicaciones.
9. Capacidad para analizar, codificar, procesar y transmitir información multimedia empleando técnicas de procesamiento analógico y digital de señal.
10. Desarrollar el pensamiento científico.
11. Desarrollar estrategias de aprendizaje autónomo.
12. Desarrollar la capacidad de análisis y de síntesis.
13. Desarrollar la curiosidad y la creatividad.
14. Desarrollar modelos matemáticos con los que simular el comportamiento de subsistemas de comunicaciones así como evaluar y predecir sus prestaciones.
15. Desarrollar un pensamiento y un razonamiento crítico.
16. Describir los principios de funcionamiento de los sistemas de radionavegación, su arquitectura y las técnicas para combatir sus fuentes de error.
17. Generar propuestas innovadoras y competitivas en la actividad profesional.
18. Gestionar el tiempo y los recursos disponibles
19. Gestionar la información incorporando de forma crítica las innovaciones del propio campo profesional, y analizar las tendencias de futuro.
20. Proponer soluciones innovadoras a problemas relacionados con la transmisión, recepción y tratamiento digital de señales.
21. Trabajar en entornos complejos o inciertos y con recursos limitados.

## Contenido

### 1. Introducción

- Procesos aleatorios discretos, representación frecuencial.
- Fundamentos de álgebra matricial.
- Correlación.

### 2. Teoría de la estimación

- Fundamentos y metodología orientada a modelo.
- Aproximación clásica vs. bayesiana.
- Propiedades deseables de los estimadores. Criterio MVU.
- Estimación de máxima verosimilitud. Criterio ML.
- Cota de Cramér-Rao.
- Métodos subóptimos de estimación.
- Aplicaciones en sistemas de comunicaciones y de posicionamiento.

### 3. Estimación espectral

- Métodos no-paramétricos.
- Método de Capon o mínima varianza.
- Métodos paramétricos.
- Métodos de super-resolución.
- Aplicaciones en codificación de voz y procesamiento de señal multi-antena.

#### 4. Filtrado de Wiener y filtrado adaptativo

- Estimación minimum mean square error (MMSE).
- Predicción lineal.
- Método de steepest descent.
- Condiciones de convergencia.
- Método de Least Mean Square (LMS).
- Aplicaciones en cancelación de ruido.

## Metodología

### Actividades dirigidas

- Clases de teoría: exposición de los contenidos teóricos
- Clases de problemas: resolución de problemas relacionados con la teoría, con participación de los propios alumnos.
- Prácticas de laboratorio: aplicación de las técnicas presentadas en las clases de teoría a través de ejercicios con Matlab.
- Realización de pruebas de evaluación escritas.

### Actividades autónomas

- Estudio de los contenidos teóricos y prácticos de la asignatura. Preparación de los problemas. Preparación de los exámenes.
- Trabajos prácticos: realización y profundización de las prácticas de laboratorio. Preparación de la memoria de cada práctica.

Nota: se reservarán 15 minutos de una clase dentro del calendario establecido por el centro o por la titulación para que el alumnado rellene las encuestas de evaluación de la actuación del profesorado y de evaluación de la asignatura o módulo.

## Actividades

Título	Horas	ECTS	Resultados de aprendizaje
Tipo: Dirigidas			
Clases de laboratorio	25	1	3, 4, 5, 6, 7, 16, 11, 14, 9
Clases de problemas	15	0,6	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 16, 10, 12, 14, 15, 20, 9
Clases de teoría	60	2,4	3, 4, 5, 6, 7, 16, 10, 12, 13, 14, 9
Tipo: Supervisadas			
Tutorías	15	0,6	5, 6, 7, 16, 15, 9
Tipo: Autónomas			
Estudio	100	4	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 16, 10, 11, 12, 14, 15, 19, 20, 9

Preparación clases de laboratorio	30	1,2	1, 3, 4, 8, 11, 12, 14, 15, 17, 19, 20
Resolución de problemas	40	1,6	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 16, 10, 12, 14, 15, 20, 9

## Evaluación

### Evaluación continua

Consta de un examen a mitad de semestre (Examen1) y otro examen al final de semestre (Examen2). La nota promedio de estos dos exámenes configura la nota de teoría de la evaluación continua:

$$\text{NotaTeoría} = [(0.35 \times \text{Nota Examen1}) + (0.35 \times \text{Nota Examen2})] / 0.7$$

Por otro lado, la nota de prácticas viene dada por el promedio entre la nota de los informes de prácticas, la nota de los informes "in-situ" y la nota del examen de laboratorio según:

$$\text{NotaPrácticas} = [(0.13 \times \text{NotaInformesPrácticas}) + (0.13 \times \text{NotaInformes "in-situ"}) + (0.04 \times \text{NotaExamenLaboratorio})] / 0.3$$

A partir de las notas de teoría y prácticas, la nota final de la asignatura se calcula según:

$$\text{Si } (\text{NotaTeoría} \geq 3.5) \ \&\& \ (\text{NotaPrácticas} \geq 3.5) \rightarrow \text{NotaFinal} = (0.7 \times \text{NotaTeoría}) + (0.3 \times \text{NotaPrácticas})$$

$$\text{Si } (\text{NotaTeoría} < 3.5) \ || \ (\text{NotaPrácticas} < 3.5) \rightarrow \text{NotaFinal} = \min\{\text{NotaTeoría}, \text{NotaPrácticas}\}$$

Por tanto, es necesario que el estudiante tenga una nota de teoría y una nota de prácticas igual o superior a 3.5 para poder hacer media.

### Recuperación

Para acceder a la recuperación es necesario que el estudiante se haya presentado a los dos exámenes de evaluación continua y que la nota final de la asignatura sea  $\text{NotaFinal} \geq 3.5$ .

Hay que tener en cuenta que si un estudiante tiene una nota de prácticas inferior a 3.5, su nota final de asignatura será esta nota de prácticas inferior a 3.5 (de acuerdo con la fórmula anterior para el cálculo de la nota final). Por tanto, al ser la nota final de la asignatura inferior a 3.5, el estudiante no se podrá presentar a la recuperación.

Por otro lado, si la nota final de la asignatura es igual o superior a 3.5, el estudiante sí podrá presentarse al examen de recuperación que se llevará a cabo dentro del periodo de exámenes publicado por la Escuela. En el examen de recuperación el estudiante podrá recuperar la parte correspondiente al Examen1, la parte correspondiente al Examen2 o ambas. La nota que se obtenga en cada parte del examen de recuperación (nota ExamenRecup1, nota ExamenRecup2) sustituirá la nota que tuviera el estudiante en el examen de evaluación continua correspondiente. La nota de teoría recuperada se calculará según:

$$\text{NotaTeoríaRecup} = [0.35 \times \text{Nota } \{\text{Examen1 o ExamenRecup1}\} + 0.35 \times \text{Nota } \{\text{Examen2 o ExamenRecup2}\}] / 0.7$$

La nota final de la asignatura se calculará según:

$$\text{Si } (\text{NotaTeoríaRecup} \geq 3.5) \ \&\& \ (\text{NotaPrácticas} \geq 3.5) \rightarrow \text{NotaFinal} = (0.7 \times \text{NotaTeoríaRecup}) + (0.3 \times \text{NotaPrácticas})$$

$$\text{Si } (\text{NotaTeoríaRecup} < 3.5) \rightarrow \text{NotaFinal} = \text{NotaTeoríaRecup}$$

### Normativa de prácticas

- La asistencia a todas las prácticas de laboratorio es obligatoria.

- Las prácticas se llevarán a cabo de forma individual.
- El informe de cada práctica se tendrá que entregar obligatoriamente en el plazo de una semana tras la finalización de la última sesión que compone la práctica. Cualquier retardo en la entrega de los informes será penalizado en la nota del mismo.
- Sin perjuicio de este informe que se entrega a posteriori, el profesor de prácticas solicitará a los estudiantes que entreguen una versión preliminar de este informe justo al acabar la sesión de laboratorio (informe "in situ"), para evaluar el aprovechamiento de la sesión.

### Estudiantes repetidores

Si en cursos pasados aprobaron la parte de laboratorio de la asignatura, se les mantendrá la misma nota y no tendrán que volver a repetir el laboratorio. Si algún estudiante repetidor quiere volver a hacer las prácticas, será necesario que lo informe explícitamente al profesor responsable. De lo contrario, no es necesario informar al profesor pues la opción de mantener la nota se presupone por defecto

### Consideración de "No Evaluable"

Los estudiantes que no se presenten a ningún examen (ni los dos exámenes de evaluación continua ni tampoco el de recuperación) tendrán la consideración de "No Evaluable".

### Consideraciones adicionales

Sin perjuicio de otras medidas disciplinarias que se estimen oportunas, y de acuerdo con la normativa vigente, se calificará con un cero las irregularidades cometidas por el estudiante que puedan conducir a una variación de la calificación de un acto de evaluación. Por lo tanto, copiar o dejarse copiar una práctica o cualquier otra actividad de evaluación implicará suspenderla con un cero y no se podrá recuperar en el mismo curso académico. Si esta actividad tiene una nota mínima asociada, entonces la asignatura quedará suspensa.

Si el estudiante reincide y comete irregularidades en varios actos de evaluación de la asignatura, ésta quedará suspendida con una nota final de 0 en virtud del punto 10, artículo 116, de la Normativa Académica.

## **Actividades de evaluación**

Título	Peso	Horas	ECTS	Resultados de aprendizaje
Examen 1	35%	2,5	0,1	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 16, 12, 14, 19, 20, 9
Examen 2	35%	2,5	0,1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 16, 12, 14, 19, 20, 9
Laboratorio: examen de conocimientos prácticos	5%	1	0,04	1, 3, 4
Laboratorio: informes "in-situ"	10%	4	0,16	3, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 21
Laboratorio: informes prácticas	15%	5	0,2	1, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 18, 20, 9

## **Bibliografía**

Básica:

- S. M. Kay, *Fundamentals of statistical signal processing. Estimation theory, vol. I*, Prentice-Hall, 1993. (temas 1 y 2)
- M. H. Hayes, *Statistical digital signal processing and modeling*, John Wiley and Sons, 1996. (temas 1, 3 y 4)
- P. Stoica and R. Moses, *Spectral analysis of signals*, Prentice-Hall, 2005. (tema 3)
- S. Haykin, *Adaptive filter theory*, Pearson, 2013. (tema 4)

#### Complementaria:

- D. G. Manolakis, V. K. Ingle, S. M. Kogen, *Statistical and adaptive signal processing: spectral estimation, signal modeling, adaptive filtering and array processing*, Artech-House, 2005. (temas 1, 3 y 4)
- S. M. Kay, *Fundamentals of statistical signal processing. Practical algorithm development, vol. III*, Pearson, 2013. (temas 1, 2 y 3)
- S. Lawrence Marple, *Digital spectral analysis*, Dover Publications, 2019. (tema 3)
- B. Widrow and S. D. Stearns, *Adaptive signal processing*, Prentice-Hall, 2985. (tema 4)
- A. Hjørungnes, *Complex-Valued Matrix Derivatives: With Applications in Signal Processing and Communications*, Cambridge University Press, 2011.
- Fundamentos previos:
  - S. M. Kay, *Intuitive probability and random processes using Matlab*, Springer, 2006.
  - V. K. Ingle and J. G. ProakisManolakis, *Digital signal processing using Matlab*, Cengage Learning, 2012.

#### Software

- En las sesiones de prácticas se utilizará el software MATLAB.
- Los informes de prácticas se recomienda que se redacten utilizando LaTeX, por ejemplo utilizando el editor online Overleaf.