

**Proyecto/Guía docente de la asignatura adaptada a la Nueva Normalidad**

|  |  |                      |                |
|--|--|----------------------|----------------|
| <b>Asignatura</b>                              | PROCESADO DE SEÑALES EN COMUNICACIONES   |                      |                |
| <b>Materia</b>                                 | PROCESADO DE SEÑALES EN COMUNICACIONES   |                      |                |
| <b>Módulo</b>                                  |  |                      |                |
| <b>Titulación</b>                              | MÁSTER EN INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN   |                      |                |
| <b>Plan</b>                                    | 544  | <b>Código</b>        | 53814          |
| <b>Periodo de impartición</b>                  | 1 <sup>er</sup> . CUATRIMESTRE   | <b>Tipo/Carácter</b> | OBLIGATORIA    |
| <b>Nivel/Ciclo</b>                             | MÁSTER   | <b>Curso</b>         | 1 <sup>o</sup> |
| <b>Créditos ECTS</b>                           | 6 ECTS   |                      |                |
| <b>Lengua en que se imparte</b>                | CASTELLANO   |                      |                |
| <b>Profesor/es responsable/s</b>               | ROBERTO HORNERO SÁNCHEZ<br>LUIS MIGUEL SAN JOSÉ REVUELTA<br>JUAN PABLO CASASECA DE LA HIGUERA<br>JESÚS POZA CRESPO   |                      |                |
| <b>Datos de contacto (E-mail, teléfono...)</b> | TELÉFONO: 983 423000 ext. 5570 / ext. 5543 / ext. 5591 / ext. 5569<br>E-MAIL: <a href="mailto:robhor@tel.uva.es">robhor@tel.uva.es</a> , <a href="mailto:lsanjose@tel.uva.es">lsanjose@tel.uva.es</a> , <a href="mailto:jcasasec@tel.uva.es">jcasasec@tel.uva.es</a> ,<br><a href="mailto:jespoz@tel.uva.es">jespoz@tel.uva.es</a> |                      |                |
| <b>Horario de tutorías</b>                     | Véase <a href="http://www6.uva.es">www6.uva.es</a> → Centros → Campus de Valladolid → Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación → Tutorías  |                      |                |
| <b>Departamento</b>                            | TEORÍA DE LA SEÑAL Y COMUNICACIONES E INGENIERÍA TELEMÁTICA  |                      |                |



## 1. Situación / Sentido de la Asignatura

### 1.1 Contextualización

Esta asignatura se enmarca dentro de los cursos de Tratamiento de Señal y Comunicaciones su objetivo es presentar al alumno un conjunto de técnicas y algoritmos de procesamiento de señal empleados en los actuales sistemas de comunicaciones, con especial énfasis en los sistemas MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) que emplean varias antenas en transmisión y recepción, así como en los sistemas de codificación avanzada. El curso comprende tres grandes bloques. En el primero se presentan técnicas de detección y estimación bayesiana en entornos tanto mono- como multi-usuario. El segundo bloque se centra en los sistemas con diversidad MIMO que emplean codificación espacio-temporal por bloques. Por último, el tercer bloque estudia diferentes tipos de codificación avanzada del canal, tales como los códigos cíclicos, los convolucionales o los turbo.

La asignatura presenta una continuación a asignaturas como Teoría de la Comunicación, habituales en los cursos de grado. Así mismo, las prácticas y simulaciones realizadas sobre los diferentes temas pretenden el afianzamiento de los conceptos teóricos. Dado que la asignatura pertenece a estudios de máster, cada una de las partes presentará el material y conocimientos básicos sobre el tema y se facilitará al alumno información y referencias suficientes para que éste aborde el estudio más detallado y la puesta en práctica de los diferentes conceptos.

La materia objeto de estudio en esta asignatura es de gran utilidad en los sistemas actuales reales de comunicaciones móviles donde se encuentra presente en numerosos estándares ya comercializados.

### 1.2 Relación con otras materias

Esta asignatura está especialmente relacionada con "Diseño y Simulación de Sistemas de Comunicaciones", pues dicha asignatura proporciona los conocimientos básicos para comprender los elementos y los principios de diseño de sistemas de comunicaciones, y con "Diseño y Aplicaciones de Sistemas de Radiocomunicaciones y Radiodeterminación", la cual profundiza en los principios de diseño de antenas de sistemas de comunicaciones y aborda además las técnicas de radar y sus aplicaciones.

### 1.3 Prerrequisitos

No existen condiciones previas excluyentes para cursar esta asignatura, aunque sí recomendaciones lógicas que el alumno debería tener en cuenta. Es recomendable para los Graduados en Tecnologías Específicas de Telecomunicación, Mención en Sistemas Electrónicos, haber cursado la asignatura "Estimación, Detección y Métodos Numéricos" de la materia "Complementos de Teoría de la Señal y Comunicaciones" del "Bloque de Materias de Complementos de Formación". Además, es recomendable para los Graduados en Tecnologías Específicas de Telecomunicación, Mención en Telemática, haber cursado las asignaturas "Estimación, Detección y Métodos Numéricos" y "Complementos de Transmisores y Receptores" del "Bloque de Materias de Complementos de Formación". Finalmente, es recomendable para los Graduados en Tecnologías Específicas de Telecomunicación, Mención en Sistemas de Telecomunicación, haber cursado la asignatura "Estimación, Detección y Métodos Numéricos" del "Bloque de Materias de Complementos de Formación".

El alumno deberá contar con medios informáticos y telemáticos suficientes para interactuar con el Campus Virtual y con los sistemas de videoconferencia.



Para la evaluación del aprendizaje de esta asignatura el alumno acepta utilizar los mecanismos técnicos que constan en esta Guía y aquellos que la Universidad determine y/o facilite.

## 2. Competencias

### 2.1 Generales

- G1. Capacidad para calcular y diseñar productos y procesos en ámbitos de la Ingeniería de Telecomunicación.
- G4. Capacidad para el modelado matemático, cálculo y simulación en centros tecnológicos y de ingeniería de empresa, particularmente en tareas de investigación, desarrollo e innovación en todos los ámbitos relacionados con la Ingeniería de Telecomunicación y campos multidisciplinares afines.
- G7. Capacidad para la puesta en marcha, dirección y gestión de procesos de fabricación de equipos electrónicos y de telecomunicaciones.
- G8. Capacidad para la aplicación de los conocimientos adquiridos y resolver problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios y multidisciplinares, siendo capaces de integrar conocimientos.
- G12. Poseer habilidades para el aprendizaje continuado, autodirigido y autónomo.

### 2.2 Específicas

- S1. Capacidad para aplicar métodos de la teoría de la información, la modulación adaptativa y codificación de canal, así como técnicas avanzadas de procesado digital de señal a los sistemas de comunicaciones y audiovisuales.
- S2. Capacidad para desarrollar sistemas de radiocomunicaciones: diseño de antenas, equipos y subsistemas, modelado de canales, cálculo de enlaces y planificación.
- S3. Capacidad para implementar sistemas por cable, línea, satélite en entornos de comunicaciones fijas y móviles.

## 3. Objetivos

Al finalizar la asignatura el alumno deberá ser capaz de:

- Conocer los principales métodos bayesianos de detección y estimación conjuntas aplicados a un receptor de comunicaciones móviles digitales.
- Analizar y proponer diversos mecanismos de limitación de la complejidad en igualadores ciegos bayesianos.
- Conocer el concepto de diversidad de un receptor y modulación adaptativa.
- Ser capaces de hacer una comparativa con juicio crítico de las ventajas y desventajas de los sistemas MIMO, SISO, MISO, y SIMO.



- Conocer los mecanismos de funcionamiento, así como los algoritmos matemáticos básicos del funcionamiento de sistemas de comunicaciones con canal compartido por múltiples usuarios de forma óptima.
- Desarrollar sistemas eficientes de comunicación incorporando algoritmos de procesado.
- Conocer diferentes técnicas y códigos de codificación de canal, especialmente las relacionadas con los sistemas y estándares de comunicaciones digitales sobre medios conductores o transmisión inalámbrica.
- Identificar cuándo se debe utilizar cada una de las diferentes técnicas y códigos de codificación de canal en un sistema de comunicaciones.
- Encontrar y analizar información sobre técnicas y códigos de codificación de canal.
- Simular sistemas de comunicaciones digitales empleando la herramienta informática MatLab®/Octave.

#### 4. Contenidos y/o bloques temáticos

##### Bloque 1: Procesado de Señales en Comunicaciones

Carga de trabajo en créditos ECTS:

##### a. Contextualización y justificación

La asignatura consta de un único bloque temático dividido en 4 temas. El Tema 1 proporciona una visión global de la asignatura, describiendo sus diferentes temas, bibliografía, metodología de trabajo y criterios de evaluación. En el Tema 2 se estudian los principales algoritmos de igualación ciega bayesiana en un escenario de comunicaciones móviles digitales. Para ello, se abordan inicialmente los métodos clásicos y bayesianos tanto de detección de símbolos como de estimación de la respuesta impulsiva del canal, para, a continuación, derivar los algoritmos en su versión ciega. Se estudian finalmente las principales estructuras para su implementación, los métodos para reducir la complejidad y hacer viables los igualadores propuestos, y se comenta brevemente sobre la estimación de la calidad del proceso conjunto (a través de la estimación de la BER) así como sobre el control de la convergencia. En el Tema 3 se describe una técnica muy utilizada recientemente que persigue el máximo aprovechamiento del canal de comunicaciones en entornos de comunicaciones complejos con la presencia de múltiples usuarios y/o espectro ensanchado, todos ellos compartiendo el mismo canal de forma simultánea. Concretamente se introduce la tecnología de múltiples entrada y salidas, de gran potencial para lograr el objetivo anteriormente expuesto. Finalmente, el Tema 4 se centra en las técnicas de codificación de canal. Comienza con un repaso de la capacidad de canal y el teorema de capacidad de información para posteriormente centrarse en los diferentes tipos de códigos utilizados en las comunicaciones digitales (códigos de bloques lineales, códigos cíclicos, códigos convolucionales, códigos turbo, etc.). Conviene mencionar que cada tema finaliza con ejemplos de aplicación de las técnicas analizadas en los mismos. Asimismo, irán acompañados de prácticas de laboratorio, donde el alumno tendrá que aplicar el conocimiento adquirido al procesado de señales en comunicaciones.

##### b. Objetivos de aprendizaje

Al finalizar este bloque temático, el alumno deberá ser capaz de:



- Conocer los principales algoritmos bayesianos de estimación y detección conjunta en sistemas de comunicaciones digitales.
- Conocer la tecnología MIMO de comunicaciones en sus distintos entornos.
- Comprender el funcionamiento y la utilidad de los códigos espacio-tiempo por bloques (STBC).
- Simular un entorno de comunicaciones con canal de tipo MIMO para alguna de sus diferentes variantes.
- Describir los fundamentos básicos de las técnicas de codificación de canal.
- Enumerar distintas técnicas de codificación de canal existentes.
- Identificar cuándo se debe utilizar cada una de las diferentes técnicas de codificación de canal en un sistema de comunicaciones.
- Utilizar la herramienta informática MatLab®/Octave para simular sistemas de comunicaciones digitales.

### c. Contenidos

---

#### TEMA 1: Introducción

- 1.1. Descripción general de la asignatura
- 1.2. Criterios de evaluación

#### TEMA 2: Igualación en sistemas de comunicaciones móviles digitales

- 2.1 Modelo de canal. Parámetros fundamentales
- 2.2 Detectores óptimos bayesianos
- 2.3 Estimación de canal
- 2.4 Igualadores bayesianos. Detección y estimación conjuntas
- 2.5 Técnicas limitadoras de la complejidad
- 2.6 Estimación de la probabilidad de error y control de convergencia
- 2.7 Introducción a los igualadores ciegos bayesianos multiusuario

#### TEMA 3: Sistemas de comunicación multiusuario de múltiples entradas y salidas (MIMO)

- 3.1 Introducción a los sistemas MIMO: definición, propiedades y ejemplos
- 3.2 Propagación espacio-temporal (ST)
- 3.3 Modelos de canal ST
- 3.4 Modelos de señal ST
- 3.5 Capacidad de canales ST
- 3.6 Probabilidad e congestión (*outage*)
- 3.7 Simulación por ordenador

#### TEMA 4: Codificación de canal

- 4.1. Introducción
- 4.2. Capacidad de canal
- 4.3. Códigos de bloques lineales
- 4.4. Códigos cíclicos
- 4.5. Códigos convolucionales
- 4.6. Códigos turbo y LDPC



---

#### d. Métodos docentes

---

- Clase magistral participativa.
- Prácticas en el laboratorio.
- Trabajo en grupo en el laboratorio (aprendizaje colaborativo).

---

#### e. Plan de trabajo

---

Véase el Anexo I.

---

#### f. Evaluación

---

La evaluación de la adquisición de competencias se basará en:

- Evaluación del laboratorio con cuestiones sobre cada una de las prácticas y realización de una práctica evaluable en el laboratorio para el tema 3.
- Prueba escrita al final del cuatrimestre.

---

#### g. Material docente

---

---

##### g.1 Bibliografía básica

---

- A. B. Gershman, N. D. Sidiropoulos (Eds.): *Space-time processing for MIMO communications*. John Wiley, 2005
- S. Glisic, B. Vucetic, *Spread Spectrum CDMA Systems for Wireless Communications*, Artech House Publishers, UK, 1997.
- S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 3<sup>rd</sup> edition, Prentice-Hall Information and System Sciences Series, New Jersey, 1996.
- A. Paulraj, R. Nabar, D. Gore, *Introduction to Space-Time wireless communications*, Cambridge University Press, 2008.
- J. G. Proakis, M. Salehi, *Fundamentals of Communication Systems*, 2nd Ed. Prentice Hall, 2013.

---

##### g.2 Bibliografía complementaria

---

- S. T. Alexander, *Adaptive Signal Processing: Theory and Applications*, Springer-Verlag, New York, 1986.
- S. Kay, *Fundamentals of Statistical Signal Processing, Volume I: Estimation Theory*, Prentice-Hall, 1993.
- S. Kay, *Fundamentals of Statistical Signal Processing, Volume II: Detection Theory*, Prentice-Hall, 1998.
- B. Sklar, *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, 2nd Ed. Prentice Hall, 2001.
- A. F. Molisch, *Wireless Communications*, 2nd Ed, 2012.
- S. Verdú, *Multiuser detection*, Cambridge University Press, UK: 1998.



### g.3 Otros recursos telemáticos

- Podrán emplearse materiales escritos y/o audiovisuales proporcionados por el profesor para explicación o refuerzo de determinados contenidos incluidos del temario.

### h. Recursos necesarios

Serán necesarios los siguientes recursos, todos ellos facilitados por la Universidad de Valladolid o el profesor:

- Documentación de apoyo.
- Pizarra, ordenador y cañón de proyección en las aulas para las clases magistrales participativas.
- Laboratorio con veinte ordenadores con el sistema operativo Windows® o Linux y licencia de Matlab® para la realización de las prácticas de laboratorio. Una pizarra en el laboratorio es también necesaria para que el profesor aclare conceptos generales a todos los alumnos.
- Entorno de trabajo en la plataforma Moodle, ubicado en el Campus Virtual de la Universidad de Valladolid.
- El alumno debe contar con medios informáticos y telemáticos suficientes para interactuar con el Campus Virtual y con los sistemas de videoconferencia.

### i. Temporalización (por bloques temáticos)

| BLOQUE TEMÁTICO                                  | CARGA ECTS | PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO |
|--|------------|--------------------------------|
| Bloque 1: Procesado de señales en comunicaciones | 6 ECTS     | Semanas 1 a 15                 |

### 5. Métodos docentes y principios metodológicos

- Clase magistral participativa.
- Prácticas en el laboratorio.
- Trabajo en grupo en el laboratorio.

## 6. Tabla de dedicación del estudiante a la asignatura

| ACTIVIDADES PRESENCIALES O PRESENCIALES A DISTANCIA <sup>(1)</sup> | HORAS     | ACTIVIDADES NO PRESENCIALES           | HORAS      |
|--|-----------|---------------------------------------|------------|
| Clases teórico-prácticas (T/M)                                     | 25        | Estudio y trabajo autónomo individual | 50         |
| Clases prácticas de aula (A)                                       | 10        | Estudio y trabajo autónomo grupal     | 40         |
| Laboratorios (L)   | 22        |                                       |            |
| Prácticas externas, clínicas o de campo                            | 0         |                                       |            |
| Seminarios (S)   | 0         |                                       |            |
| Tutorías grupales (TG)   | 0         |                                       |            |
| Evaluación (fuera del periodo oficial de exámenes)                 | 3         |                                       |            |
| <b>Total presencial</b>  | <b>60</b> | <b>Total no presencial</b>            | <b>90</b>  |
| <b>TOTAL presencial + no presencial</b>                            |           |                                       | <b>150</b> |

(1) Actividad presencial a distancia es cuando un grupo de alumnos sigue una videoconferencia de forma síncrona a la clase impartida por el profesor.

## 7. Sistema y características de la evaluación

Cada cuestionario de laboratorio evaluará los contenidos de la práctica de laboratorio del bloque correspondiente. El examen final abarcará los contenidos generales de los tres bloques, exceptuando las prácticas de laboratorio.

| INSTRUMENTO/PROCEDIMIENTO    | PESO EN LA NOTA FINAL | OBSERVACIONES  |
|------------------------------|-----------------------|--|
| Cuestionarios de laboratorio | 35%                   | Un 35% de la nota final se evalúa mediante una serie de cuestiones y/o de la calidad del código programado al final de cada práctica o en la práctica final evaluable (tema 3). La evaluación se realizará de forma individual y está destinada a evaluar el grado de comprensión por parte del alumno de una serie de conceptos relacionados con el uso de MatLab®/Octave en el contexto de "Procesado de Señales en Comunicaciones". |
| Examen final escrito         | 65%                   | El examen consiste de una serie de cuestiones, que el alumno ha de resolver y que permiten evaluar el grado de comprensión de los conceptos fundamentales del temario de la asignatura.  |
| Total                        | 100%                  |  |





#### CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

- **Convocatoria ordinaria:**
  - De acuerdo con la tabla anterior.
  
- **Convocatoria extraordinaria:**
  - Se realizará el examen final escrito (65%).
  - Se conservará la nota obtenida durante la evaluación continua de la parte práctica de la asignatura (35%).

#### 8. Consideraciones finales

- El Anexo I mencionado en la guía, donde se describe la planificación detallada, se entregará al comienzo de la asignatura.