



Proyecto/Guía docente de la asignatura

Asignatura	TRATAMIENTO DE SEÑALES BIOMÉDICAS		
Materia	SEÑALES Y SISTEMAS		
Módulo	MATERIAS ESPECÍFICAS DE LA MENCIÓN EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN		
Titulación	GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS ESPECÍFICAS DE TELECOMUNICACIÓN		
Plan	512	Código	46638
Periodo de impartición	2º CUATRIMESTRE	Tipo/Carácter	OPTATIVA DE LA MENCIÓN
Nivel/Ciclo	GRADO	Curso	4º
Créditos ECTS	6 ECTS		
Lengua en que se imparte	CASTELLANO		
Profesor/es responsable/s	ROBERTO HORNERO SÁNCHEZ JAVIER GÓMEZ PILAR GONZALO CÉSAR GUTIÉRREZ TOBAL		
Datos de contacto (E-mail, teléfono...)	TELÉFONO: 983 423000 ext. 5570 / ext. E-MAIL: roberto.hornero@tel.uva.es , javier.gomez.pilar@uva.es , gonzalocesar.gutierrez@uva.es		
Departamento	TEORÍA DE LA SEÑAL Y COMUNICACIONES E INGENIERÍA TELEMÁTICA		
Fecha de revisión por el Comité de Título	26 junio 2023		



1. Situación / Sentido de la Asignatura

1.1 Contextualización

Esta asignatura está enmarcada dentro de la materia “Señales y Sistemas”, que consta de cuatro asignaturas (“Tratamiento de Señales”, “Tratamiento Avanzado de Señales”, “Señales y Sistemas Audiovisuales” y “Tratamiento de Señales Biomédicas”). A su vez, la materia “Señales y Sistemas” se encuadra dentro del “Bloque de Materias Específicas de la Mención en Sistemas de Telecomunicación” perteneciente al “Grado en Ingeniería de Tecnologías Específicas de Telecomunicación”. La asignatura “Tratamiento de Señales Biomédicas” se imparte en el segundo cuatrimestre del cuarto curso.

Actualmente, la mayoría de los médicos analizan los registros de actividad fisiológica mediante inspección visual, que es una tarea compleja y consume un elevado tiempo. Por lo tanto, es necesario el desarrollo de herramientas que faciliten o ayuden en el estudio e interpretación de estas señales. En este sentido, sería interesante aplicar algún tipo de procesado de señal a los registros de actividad fisiológica, que permitiera destacar determinados detalles que no se ven o que son difícilmente visibles con la señal sin procesar. Esta tarea permitiría ahorrar tiempo, aumentar la objetividad y uniformidad, así como facilitar futuras investigaciones. Por lo tanto, surge la necesidad de formar profesionales capaces de, entre otras cuestiones, identificar y aplicar métodos de procesado de señal adecuados para abordar la caracterización de los diversos registros biomédicos utilizados en el diagnóstico y evaluación de diversos estados fisiológicos. En este contexto, se enmarca la asignatura de “Tratamiento de Señales Biomédicas”.

De esta manera, el alumno deberá adquirir unos conocimientos básicos sobre los principales métodos de análisis de señal aplicados a diferentes tipos de registros fisiológicos, abarcando todas las etapas asociadas a la resolución de un problema de procesado de señales biomédicas. Esto debería ser una sólida base sobre la que se asentaran otras competencias que debe adquirir el estudiante, incluyendo la capacidad para resolver problemas novedosos, planificar adecuadamente el tiempo disponible, trabajar en un grupo multidisciplinar, comunicar por escrito y oralmente resultados, así como utilizar programas informáticos de simulación.

1.2 Relación con otras materias

Esta asignatura está especialmente relacionada con “Sistemas Lineales”, ya que dicha asignatura proporciona los conocimientos básicos para realizar un análisis de Fourier, con “Tratamiento de Señales”, ya que esta asignatura aborda el diseño de filtros y diversos métodos de estimación espectral, con “Tratamiento Avanzado de Señales”, la cual profundiza en el diseño de filtros.

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 haber cursado la materia “Matemáticas” del “Bloque de Materias Instrumentales” y la materia “Fundamentos de Señales y Sistemas” del “Bloque de Materias Básicas de Telecomunicaciones”. Además, es muy recomendable haber cursado las asignaturas: “Sistemas Lineales” del 2º cuatrimestre del 1º curso y “Tratamiento de Señales” del 2º cuatrimestre del 3º curso.



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

- GB1. Capacidad de razonamiento, análisis y síntesis.
- GBE2. Capacidad para aplicar métodos analíticos y numéricos para el análisis de problemas en el ámbito de la ingeniería técnica de Telecomunicación.
- GBE3. Capacidad para resolver problemas con iniciativa, creatividad y razonamiento crítico.
- GBE4. Capacidad para diseñar y llevar a cabo experimentos, así como analizar e interpretar datos.
- GE2. Capacidad para trabajar en un grupo multidisciplinar y multilingüe, responsabilizándose de la dirección de actividades objeto de los proyectos del ámbito de su especialidad y consiguiendo resultados eficaces.
- GC1. Capacidad de organización, planificación y gestión del tiempo.
- GC2. Capacidad para comunicar, tanto por escrito como de forma oral, conocimientos, procedimientos, resultados e ideas relacionadas con las telecomunicaciones y la electrónica.

2.2 Específicas

- B2. Conocimientos básicos sobre el uso y programación de los ordenadores, sistemas operativos, bases de datos y programas informáticos con aplicación en ingeniería.



3. Objetivos

Al finalizar la asignatura el alumno deberá ser capaz de:

- Conocer las técnicas de procesado de señales biomédicas, reconociendo sus características, ventajas y limitaciones.
- Identificar cuándo se debe utilizar cada una de las diferentes soluciones existentes para analizar las diferentes señales biomédicas.
- Comprender el efecto del ruido en el procesado de señales biomédicas.
- Aplicar las técnicas más habituales de análisis estadístico de resultados en el contexto del procesado de señales biomédicas.
- Identificar cuándo se debe utilizar cada una de las diferentes técnicas de análisis estadístico para interpretar los resultados de un problema de procesado de señales biomédicas.
- Gestionar bibliografía, documentación, legislación, bases de datos y software específicos del procesado de señales biomédicas.
- Encontrar y analizar información sobre técnicas y aplicaciones de procesado de señales biomédicas y realizar trabajos de investigación con dicha información.
- Saber comunicar los resultados de investigación en el ámbito del procesado de señales biomédicas mediante la exposición de un trabajo.
- Simular con la herramienta informática Matlab® un problema de procesado de señales biomédicas, para evaluar las implicaciones prácticas de la modificación de parámetros de las diferentes técnicas de procesado y el efecto del ruido.



4. Contenidos y/o bloques temáticos

Bloque 1: “Tratamiento de Señales Biomédicas”

Carga de trabajo en créditos ECTS: 6

a. Contextualización y justificación

La asignatura consta de un único bloque temático dividido en seis temas. El Tema 1 proporciona una visión global del procesado de señales biomédicas. En él se van a describir los objetivos del procesado de señales biomédicas, los diferentes tipos de señales biomédicas, así como las principales etapas del procesado de señales biomédicas. El Tema 2 aborda el análisis de los diferentes tipos de ruido e interferencias que pueden afectar a las señales biomédicas y las técnicas más extendidas para su eliminación. En el Tema 3 se introducen las herramientas básicas de análisis estadístico necesarias para interpretar los resultados obtenidos tras analizar una señal biomédica mediante los métodos espectrales y no lineales estudiados. En el Tema 4 se describen las principales transformadas utilizadas para analizar las señales en los dominios tiempo-frecuencia y tiempo-escala, como la transformada corta de Fourier y la transformada *wavelet*. El Tema 5 se centra en introducir los conceptos básicos de la dinámica no lineal, así como de estudiar los diferentes métodos no lineales útiles para analizar las señales biomédicas. Finalmente, el Tema 6 se centra en los sistemas *Brain Computer Interface* (BCI). Se estudiarán las principales características de los sistemas BCI, su clasificación y se analizarán las etapas necesarias para desarrollarlos. 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 biomédicas reales.

b. Objetivos de aprendizaje

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

- Enumerar los distintos tipos de señales biomédicas.
- Describir los principales objetivos del procesado de señales biomédicas.
- Describir las diferentes etapas del procesado de señales biomédicas.
- Caracterizar los diferentes tipos de artefactos que puede afectar a una señal biomédica.
- Conocer diferentes aplicaciones de técnicas de eliminación de artefactos en el procesado de señales biomédicas.
- Enumerar y describir las principales técnicas espectrales de procesado de señales biomédicas.
- Analizar las características de las representaciones tiempo-frecuencia y tiempo-escala más extendidas: la transformada corta de Fourier y la transformada *wavelet*.
- Describir los fundamentos básicos del análisis no lineal.
- Enumerar y describir las principales técnicas no lineales de procesado de señales biomédicas.
- Conocer diferentes aplicaciones de técnicas no lineales en el procesado de señales biomédicas.
- Comparar las diferentes técnicas de procesado de señales biomédicas para deducir las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas.
- Predecir y explicar las implicaciones de variar los parámetros que entran en juego en cada método de procesado.



- Enumerar y describir los principales métodos de análisis descriptivo en el contexto del procesado de señales biomédicas.
- Enumerar y describir los principales métodos de análisis estadístico paramétricos y no-paramétricos en el contexto del procesado de señales biomédicas.
- Aplicar métodos de análisis estadístico para abordar un problema de análisis de señales biomédicas.
- Identificar cuándo se debe utilizar cada una de las diferentes técnicas de análisis estadístico para interpretar los resultados de un problema de procesado de señales biomédicas.
- Describir y enumerar las características, tipos, etapas y aplicaciones de los sistemas *Brain Computer Interface* (BCI).
- Realizar un trabajo de búsqueda bibliográfica del estado del arte en alguna técnica específica de procesado de señal biomédica.
- Saber comunicar los resultados de investigación en el ámbito del procesado de señales biomédicas mediante la exposición de un trabajo desarrollado.
- Utilizar la herramienta informática Matlab® para abordar un problema de procesado de señales biomédicas.
- Desarrollar software que implemente las técnicas de procesado de señal estudiadas a señales biomédicas reales adquiridas en hospitales.

c. Contenidos

TEMA 1: Introducción

- 1.1 Señales biomédicas
- 1.2 Clasificación de señales biomédicas
- 1.3 Objetivos del procesado de señales biomédicas
- 1.4 Etapas del procesado de señales biomédicas
- 1.5 Electrocardiograma (ECG)
- 1.6 Electroencefalograma (EEG)

TEMA 2: Filtrado y eliminación de artefactos

- 2.1 Ruido e interferencias
- 2.2 Filtros en el dominio del tiempo
- 2.3 Filtros en el dominio de la frecuencia
- 2.4 Filtrado óptimo: filtro de Wiener
- 2.5 Ejemplos de aplicación

TEMA 3: Herramientas de tratamiento estadístico y clasificación

- 3.1 Análisis descriptivo
- 3.2 Métodos de análisis estadístico
- 3.3 Clasificación
- 3.4 Ejemplos de aplicación

TEMA 4: Análisis en frecuencia

- 4.1 Métodos de estimación de la densidad espectral de potencia basados en la DFT
- 4.2 Conceptos de resolución en frecuencia y "leakage"



- 4.3 Parámetros espectrales
- 4.4 Transformada Corta de Fourier
- 4.5 Transformada *wavelet*
- 4.6 Ejemplos de aplicación

TEMA 5: Análisis no lineal

- 5.1 Introducción al análisis no lineal
- 5.2 Análisis no lineal de señales biomédicas
- 5.3 Parámetros no lineales aplicados a señales biomédicas
- 5.4 Ejemplos de aplicación

TEMA 6: Sistemas *Brain Computer Interface* (BCI)

- 6.1 Descripción de un sistema BCI
- 6.2 Métodos de registro de la actividad cerebral
- 6.3 Clasificación de sistemas BCI
- 6.4 Etapas de los sistemas BCI
- 6.5 Aplicaciones BCI

d. Métodos docentes

- Explicaciones teóricas del temario.
- Prácticas en el laboratorio.
- Estudio de casos en seminarios.
- Tutorías individuales o en grupo, tanto síncronas como asíncronas.
- Actividades complementarias en el Campus Virtual

e. Plan de trabajo

Véase el Anexo I.

f. Evaluación

La evaluación de la adquisición de competencias se basará en:

- Realización de un informe y exposición del trabajo desarrollado sobre el caso práctico.
- Cuestionarios de laboratorio con cuestiones sobre cada una de las prácticas.
- Realización de trabajos colaborativos en el laboratorio.
- Examen práctico de laboratorio al final de cuatrimestre.
- Cuestionarios sobre aspectos teóricos.



g Material docente

Las referencias suministradas en el curso están disponibles en la “Lista de Lectura” correspondiente de la plataforma Leganto de la Biblioteca de la UVA:

- https://buc-uva.alma.exlibrisgroup.com/leganto/public/34BUC_UVA/lists/5063542360005774?auth=SAML

g.1 Bibliografía básica

Las referencias bibliográficas incluidas están disponibles en la biblioteca de la UVA:

- R. M. Rangayyan, *Biomedical Signal Analysis*, IEEE Press and Wiley, 2015.
 - https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/eseo99/alma991007555479705774
- E. N. Bruce, *Biomedical signal processing and signal modeling*, Wiley, 2001.
 - https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/eseo99/alma991002101039705774
- L. Sörnmo, P. Laguna, *Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications*, Academic Press, 2005.
 - https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/eseo99/alma991007026769705774
- J.L. Semmlow, *Biosignal and medical image processing*, 2nd ed., CRC Press, 2009.
 - https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/eseo99/alma991001634009705774

g.2 Bibliografía complementaria

Las referencias bibliográficas incluidas están disponibles en la biblioteca de la UVA:

- F. Hlawatsch, F. Auger, *Time-Frequency Analysis. Concepts and Methods*, Wiley, 2008.
 - https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/eseo99/alma991005758699705774
- J. Bronzino, *The Biomedical Engineering Handbook*, 3rd ed., CRC Press, 2006.
 - https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/eseo99/alma991002235659705774

g.3 Otros recursos telemáticos (píldoras de conocimiento, blogs, videos, revistas digitales, cursos masivos (MOOC), ...)

En el curso Moodle del Campus Virtual se incluirá el material on-line disponible para los temas de la asignatura:

- Recursos y actividades de apoyo en el Campus Virtual.
- Cuestionarios de autoevaluación.

h. Recursos necesarios

En este bloque se utilizan herramientas docentes online para la docencia y la evaluación. En caso de un transcurso normal de la docencia estarán disponibles las aulas informáticas del centro. En caso de una afección por medidas sanitarias especiales, el alumno debe contar con medios informáticos y telemáticos suficientes para interactuar con el Campus Virtual y con los sistemas de videoconferencia.



Serán necesarios los siguientes recursos:

- 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® 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.
- Aula de seminarios (con posibilidad de ser reconfigurada para trabajo en grupo).
- Equipo de electroencefalografía y sistema BCI, que serán proporcionados por los profesores de la asignatura.
- Entorno de trabajo en la plataforma Moodle ubicado en el Campus Virtual de la UVa.
- Acceso a revistas científicas y técnicas cuya temática esté relacionada con los sistemas de navegación por satélite, a través de la Biblioteca de la UVa.

i. Temporalización

CARGA ECTS	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO
6 ECTS	Semanas 1 a 15 (13 febrero – 2 junio)

5. Métodos docentes y principios metodológicos

A lo largo de la asignatura, se combinarán diferentes métodos docentes para conseguir que los alumnos adquieran las competencias indicadas en el Apartado 2.

- Teoría.** Se combinarán las explicaciones de los profesores y la consulta de recursos bibliográficos (libros, artículos, etc.), con la realización de tutorías individuales o en grupo para explicar y discutir los contenidos más complejos de la asignatura. Esta parte de la asignatura se abordará fundamentalmente mediante estudio/trabajo personal, si bien durante las tutorías de cada tema se podrán analizar diversos aspectos teóricos de especial relevancia o dificultad. Se desarrollarán fundamentalmente competencias relacionadas con: la capacidad para aplicar métodos analíticos y numéricos para el análisis de problemas (GBE2); la capacidad de organización, planificación y gestión del tiempo (GC1); y la capacidad para aprender de manera autónoma nuevos conocimientos y técnicas (T1).
- Seminarios.** En los seminarios de la asignatura se abordará el estudio de casos relacionados con diversos problemas representativos en el ámbito del procesado de señales biomédicas. Los alumnos trabajarán en grupo que irán variando a lo largo del cuatrimestre, respetando las medidas de distanciamiento social. Se desarrollarán competencias relacionadas con: resolver problemas con iniciativa, creatividad y razonamiento crítico (GBE3); la capacidad de abordar problemas mediante razonamiento, análisis y síntesis, la organización, planificación y gestión del tiempo (GC1); y la comunicación de información de forma oral y escrita (GC2).
- Laboratorio.** Las prácticas de laboratorio complementan los contenidos teóricos tratados en cada uno de los temas de la asignatura. En ellas, se proponen diversas simulaciones en las que se aborda el estudio de casos relacionados con diversos problemas representativos en el ámbito del procesado de señales biomédicas. Concretamente, se utilizará de equipamiento y herramientas *software* específicas para comprender mejor y simular las etapas que hay que realizar para abordar un problema de procesado de señales biomédicas: adquisición de las señales, preprocesado, extracción de características, y análisis e



interpretación de los resultados. Los alumnos trabajarán en grupo, respetando las medidas de distanciamiento social, con el fin de desarrollar competencias relacionadas con: la organización, planificación y gestión del tiempo (GC1); la capacidad de analizar y especificar parámetros fundamentales de las técnicas estudiadas, diseñar y realizar experimentos, y analizar e interpretar datos (GBE4, T4); y la comunicación de información de forma oral y escrita (GC2).

6. Tabla de dedicación del estudiante a la asignatura

ACTIVIDADES PRESENCIALES o PRESENCIALES A DISTANCIA ⁽¹⁾	HORAS	ACTIVIDADES NO PRESENCIALES	HORAS
Clases teórico-prácticas (T/M)	20	Estudio de la teoría	50
Clases prácticas de aula (A)	0	Estudio y trabajo en grupo	12
Laboratorios (L)	28	Realización de las prácticas	18
Prácticas externas, clínicas o de campo	0	Búsqueda y organización de información	6
Seminarios (S)	10	Escritura de informes	3
Tutorías grupales (TG)	0	Presentación de resultados	1
Evaluación (fuera del periodo oficial de exámenes)	2		
Total presencial	60	Total no presencial	90
TOTAL presencial + no presencial			150

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

7. Sistema y características de la evaluación

INSTRUMENTO/PROCEDIMIENTO	PESO EN LA NOTA FINAL	OBSERVACIONES
Informe y exposición del trabajo desarrollado sobre el caso práctico	25%	Por un lado, un 15% de la nota final se evalúa mediante el informe entregado sobre el caso práctico desarrollado en los seminarios. Se pretende comprobar si el alumno es capaz de investigar y desarrollar un trabajo de investigación. El 10% restante de la nota final se evalúa mediante la exposición del trabajo desarrollado en los seminarios, y que permite evaluar la capacidad de comunicación verbal del alumno.
Cuestionarios de evaluación de contenidos básicos a lo largo de la asignatura	25%	El 25% de la nota final se calificará mediante una serie de cuestionarios sobre aspectos teóricos de la asignatura, que se realizarán de forma individual junto con los cuestionarios de laboratorio a lo largo de la asignatura. En esta prueba no se permite el uso de ningún material de apoyo distinto a los proporcionados por el profesor.
Examen práctico de laboratorio	20%	Por un lado, un 20% de la nota final se evalúa mediante un examen práctico que se lleva a cabo en la última sesión práctica del cuatrimestre. El examen se realiza en grupo, con el objetivo de evaluar la capacidad para



		trabajar en grupo, colaborando con sus compañeros/as de prácticas de forma orientada al resultado conjunto. Consiste en la resolución con Matlab® de un problema de “Tratamiento de Señales Biomédicas” similar a los planteados en las prácticas de la asignatura. Se permite que los alumnos utilicen libros, apuntes y los programas de Matlab® desarrollados durante el curso.
Cuestionarios de laboratorio	20%	Un 20% de la nota final se evalúa mediante cuestionarios planteados al final de cada práctica correspondiente. Los cuestionarios se realizarán de forma individual. Este examen está destinado a evaluar el grado de comprensión por parte del alumno de toda una serie de conceptos relacionados con el uso de Matlab® en el contexto de “Tratamiento de Señales Biomédicas”. En este caso, no se permite el uso de ningún material de apoyo distinto a los proporcionados por el profesor.
Valoración de la actitud y participación del alumno en las actividades formativas asociadas a los laboratorios virtuales	10%	El restante 10% de la nota final se evalúa mediante la realización de las actividades colaborativas que se proponen en las prácticas de laboratorio. Se pretende comprobar si el alumno es capaz de trabajar en grupo, abordar apropiadamente un estudio de caso y exponer adecuadamente los resultados obtenidos. Se permite que los alumnos utilicen libros, apuntes y los programas de Matlab® desarrollados durante el curso.

CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

- **Convocatoria ordinaria:**
 - La calificación de la convocatoria ordinaria se obtendrá mediante la suma de las calificaciones obtenidas en los instrumentos de evaluación indicados en la tabla anterior.
- **Convocatoria extraordinaria^(*):**
 - Se mantiene la calificación obtenida en el informe y exposición del trabajo desarrollado sobre el caso práctico, los cuestionarios de laboratorio y el examen de laboratorio, siempre que su calificación total sea superior a 3.5 puntos sobre 7. El 25% restante de la calificación se obtendrá mediante la realización de un examen sobre cuestiones teóricas de la asignatura.
 - En caso de que la calificación total no sea superior a 3.5 puntos sobre 7, no se mantienen ninguna de las calificaciones obtenidas. En la convocatoria extraordinaria se realizará un examen sobre cuestiones teóricas de la asignatura, que supondrá un máximo de 4 puntos sobre 10, y se realizarán los cuestionarios de laboratorio, que supondrán un máximo de 2.5 puntos sobre 10. En este caso, la nota máxima que se podrá obtener será de 6.5 puntos sobre 10.

(*) Se entiende por convocatoria extraordinaria la segunda convocatoria.

8. Consideraciones finales

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