

**GUÍA DOCENTE DE LA ASIGNATURA**

|  |   |                      |          |
|--|---|----------------------|----------|
| <b>Denominación de la asignatura</b>           | ANÁLISIS NO LINEAL  |                      |          |
| <b>Materia</b>                                 | INGENIERÍA BIOMÉDICA  |                      |          |
| <b>Módulo</b>                                  | ESPECIALIZACIÓN:<br>TRATAMIENTO DE SEÑALES Y BIOINGENIERÍA (ME-TSB)   |                      |          |
| <b>Titulación</b>                              | MÁSTER UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN EN<br>TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS<br>COMUNICACIONES   |                      |          |
| <b>Plan</b>                                    | 371   | <b>Código</b>        | 51304    |
| <b>Periodo de impartición</b>                  | 1 CUATRIMESTRE  | <b>Tipo/Carácter</b> | OPTATIVA |
| <b>Nivel/Ciclo</b>                             | MÁSTER  | <b>Curso</b>         | 1º       |
| <b>Créditos ECTS</b>                           | 5 ECTS  |                      |          |
| <b>Lengua en que se imparte</b>                | CASTELLANO  |                      |          |
| <b>Profesor/es responsable/s</b>               | LUIS MIGUEL SAN JOSÉ REVUELTA<br>MARÍA GARCÍA GADAÑÓN<br>CARLOS GÓMEZ PEÑA  |                      |          |
| <b>Datos de contacto (e-mail, teléfono...)</b> | Luis Miguel San José Revuelta: despacho 2D013, <a href="mailto:lsanjose@tel.uva.es">lsanjose@tel.uva.es</a> , 983-423000, ext. 5543<br>María García Gadañón: despacho 2D082, <a href="mailto:margar@tel.uva.es">margar@tel.uva.es</a> , 983-423983<br>Carlos Gómez Peña: despacho 2D089, <a href="mailto:cargom@tel.uva.es">cargom@tel.uva.es</a> , 983-423981. |                      |          |
| <b>Horario de tutorías</b>                     | Véase <a href="http://www.uva.es">www.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<br>TELEMÁTICA  |                      |          |
| <b>Área de conocimiento</b>                    | TEORÍA DE LA SEÑAL Y COMUNICACIONES   |                      |          |

## SITUACIÓN / SENTIDO DE LA ASIGNATURA

|  |  |
|--|--|
| <b>Contextualización</b>                         | Habitualmente se trabaja con sistemas lineales o se hacen aproximaciones para asumir la condición de linealidad de los sistemas. Sin embargo, nos podemos encontrar en muchas situaciones con el estudio de sistemas con un comportamiento claramente no lineal. Estos sistemas requieren de herramientas matemáticas que se adapten a este tipo de comportamiento. Este es el objetivo de esta asignatura, donde se van a describir, estudiar y aplicar diferentes tipos de técnicas no lineales. |
| <b>Relación con otras asignaturas y materias</b> | Esta asignatura optativa está relacionada con el resto de asignaturas de la materia de "Técnicas de Tratamiento de Señal" (TS), que también pertenece al itinerario de TSB. Se relaciona especialmente con "Estimación y Procesado Adaptativo" y "Procesado Multidimensional". Además, los diferentes métodos estudiados se van a aplicar en la asignatura de "Procesado de Señales Biomédicas", que pertenece a la materia de "Ingeniería Biomédica" del itinerario TSB.                          |
| <b>Prerrequisitos</b>                            | No existen condiciones previas excluyentes para cursar esta asignatura.  |

## CONTRIBUCIÓN AL DESARROLLO DE COMPETENCIAS

|                    |  |
|--------------------|--|
| <b>Generales</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de comunicar los resultados de investigación mediante artefactos escritos, propios de divulgación del conocimiento en el sistema de investigación regido por el sistema de revisión entre pares, o en otros términos, escribir artículos técnicos correctos tanto en el fondo como en la forma. [CG 8]</li> <li>• Capacidad de emplear las técnicas y medios más adecuados para la comunicación oral en diversos foros de la comunidad académica, científica o empresarial, así como para su divulgación en general en la sociedad, o en otros términos, preparar y realizar presentaciones orales correctas ante audiencias expertas y en contextos divulgativos. [CG 9]</li> <li>• Capacidad de conocer y emplear técnicas y herramientas relacionadas con el modelado, simulación, experimentación y validación de las propuestas técnicas, así como evaluarlas mediante unos parámetros de bondad establecidos. [CG 10]</li> <li>• Capacidad de desarrollar la capacidad de aprendizaje y trabajo en grupo tanto en entornos conocidos y restringidos, así como en consorcios internacionales en los que intervienen factores culturales. [CG 11]</li> <li>• Capacidad de emplear una metodología adecuada de investigación adaptada en cada contexto con énfasis en el método científico. [CG 16]</li> </ul> |
| <b>Específicas</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad para iniciarse en actividades de investigación en el campo del procesado de señal. [CE-TSB 1]</li> <li>• Capacidad de comprensión de las bases teóricas en las que se apoyan los conceptos propios de esta materia. [CE-TSB 2]</li> <li>• Capacidad de relacionar los diferentes conceptos, así como llevar a cabo un análisis crítico de los métodos desarrollados hasta llegar a comprender el estado del arte. [CE-TSB 3]</li> <li>• Capacidad de análisis y síntesis de las técnicas propias de procesado de señal, así como su aplicación a la resolución de problemas prácticos. [CE-TSB 4]</li> <li>• Capacidad de llevar a cabo simulaciones y experimentos mediante el uso de ordenadores y herramientas informáticas que permitan validar desde un punto de vista práctico los conceptos de esta materia y su aplicación en problemas. [CE-TSB 5]</li> <li>• Capacidad de utilizar procedimientos eficaces de búsqueda de información científica relacionada, tanto en fuentes de información primarias como</li> </ul>   |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>secundarias, incluyendo el uso de recursos informáticos. [CE-TSB 6]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad para exponer un trabajo desarrollado por el alumno en un tema relacionado con esta materia. [CE-TSB 7]</li> <li>• Capacidad para de defender y argumentar las decisiones tomadas en los métodos y algoritmos usados en procesamiento de señal. [CE-TSB 8]</li> <li>• Capacidad para manejar con cierta soltura herramientas no lineales de procesamiento de señal como son: teoría del caos, redes neuronales, algoritmos genéticos, métodos borrosos, etc. [CE-TSB 9]</li> </ul> |
|--|---|

### OBJETIVOS GENERALES DE LA ASIGNATURA

|  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocer el estado del arte y las condiciones para aplicar técnicas de análisis no lineal.</li> <li>• Conocer el proceso de investigación científica en ámbito del análisis no lineal.</li> <li>• Gestionar bibliografía, documentación, bases de datos y software específicos de análisis no lineal.</li> <li>• Saber comunicar los resultados de investigación en el ámbito del análisis no lineal mediante la exposición de un trabajo desarrollado por el alumno.</li> <li>• Diseñar y realizar experimentos relacionados con el procesamiento no lineal de señales unidimensionales para la resolución de proyectos de investigación de forma individual y trabajando en grupo.</li> <li>• Aplicar técnicas de análisis no lineal (métodos de la teoría del caos, redes neuronales, algoritmos genéticos, métodos borrosos, etc.) a señales simuladas y reales mediante el uso de ordenadores y comprender el funcionamiento de estas técnicas.</li> <li>• Saber realizar un análisis crítico y comparativo de los resultados obtenidos mediante distintas técnicas de análisis no lineal.</li> </ul> |
|--|

### TABLA DE DEDICACIÓN DEL ALUMNO A LA ASIGNATURA

| HORAS PRESENCIALES                    |                   |                                   |                       |   |
|---------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------|---|
| Teoría                                | Prácticas en aula | Laboratorios                      | Seminarios y tutorías | Otras actividades (ej., prácticas de campo, evaluación) |
| 20                                    | 0                 | 20                                | 10                    | 0   |
| HORAS NO PRESENCIALES                 |                   |                                   |                       |   |
| Estudio y trabajo autónomo individual |                   | Estudio y trabajo autónomo grupal |                       |   |
| 60                                    |                   | 15                                |                       |   |

## BLOQUES TEMÁTICOS

| Bloque 1: Introducción a la Computación Evolutiva |   |
|---|---|
| <b>Contextualización y justificación</b>          | <p>Este bloque inicial describe una de las principales familias de algoritmos basados en computación evolutiva para estimación de parámetros en sistemas altamente no lineales y multimodales en su espacio de soluciones. En él se explica el fundamento conceptual de los Algoritmos Genéticos y se explican los principales parámetros y etapas que lo constituyen. Este método de estimación adaptativa resulta de interés en entornos donde las aproximaciones clásicas (LMS, RLS, Kalman, etc.) derivan en una excesiva carga computacional. Ejemplos de estas situaciones son los receptores de sistemas de comunicaciones móviles o los algoritmos de estimación de parámetros en imágenes médicas.</p>   |
| <b>Objetivos de aprendizaje</b>                   | <p>Al finalizar este bloque temático, el alumno deberá ser capaz de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Introducir a los alumnos en las técnicas de estimación heurísticas, como complemento a los métodos analíticos que se estudian en otras asignaturas de grado y postgrado.</li> <li>Conocer los diferentes tipos de técnicas de Computación Evolutiva: Algoritmos Genéticos, Programas Evolutivos y Estrategias Evolutivas. Estudiar los fundamentos teóricos básicos y las estructuras más empleadas en la práctica.</li> <li>Estudiar con más detalle los Algoritmos Genéticos teniendo como punto de referencia la solución de problemas de comunicaciones digitales. En concreto, estudiar los procesos principales involucrados en los AGs: codificación, operadores genéticos, funciones de aptitud, elitismo, criterios de terminación y alteraciones fundamentales de la estructura básica.</li> <li>Familiarizarse con el software y bibliografía básicos en este tema.</li> </ul> |
| <b>Contenidos</b>                                 | <p><b>TEMA 1: Introducción al Procesado Evolutivo</b></p> <p>1.1 Introducción a las técnicas de computación evolutiva. Estudio y comparación con los métodos analíticos de estimación y adaptación. Principales ventajas e inconvenientes. Soluciones de compromiso y carga computacional.</p> <p>1.2 Estudio específico de los Algoritmos Genéticos. Fundamento teórico. Etapas de diseño. Operadores genéticos. Técnicas de elitismo. Criterios de convergencia. Estudio de la inestabilidad y problemas de convergencia. Carga computacional. Codificaciones eficientes.</p> <p>1.3 Aplicación de los algoritmos genéticos a problemas de ingeniería. Desarrollo de un AG para la detección de los símbolos transmitidos en un sistema de comunicaciones móviles. Aplicaciones en bioingeniería.</p>   |
| <b>Métodos docentes</b>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Clase magistral participativa.</li> </ul>  |
| <b>Plan de trabajo</b>                            | <p>Para este hemos previsto realizar las siguientes actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Explicación teórica del temario.</li> <li>Organización de trabajo personal y puestas en común posteriores.</li> <li>Elaboración, presentación y discusión de trabajos.</li> </ul>   |
| <b>Evaluación</b>                                 | <p>La evaluación de la adquisición de competencias se basará en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La calificación se basará en la valoración por parte del profesor del trabajo realizado por los alumnos a lo largo de cada sesión, especialmente a lo hora de poner en común al principio de cada sesión las preguntas planteadas el día anterior. Así mismo, se valorará la búsqueda de documentación, su clasificación y estudio,</li> </ul>  |

|  |   |
|--|---|
|  | así mismo como la realización y presentación de un trabajo práctico guiado por el profesor al finalizar el bloque.  |
| <b>Bibliografía básica</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• D. A. Fogel, "What is Evolutionary Computation?", IEEE Spectrum, February 2000.</li> <li>• K. S. Tang, K.F. Man, S. Kwong, Q. He, "Genetic Algorithms and their applications", IEEE Signal Processing Magazine, November 1996.</li> <li>• T. Bäck, U. Hammel and H.-P. Schwefel, "Evolutionary Computation: Comments on the History and Current State", IEEE Trans. on Evolutionary Computation, Vol. 1, No. 1, 1997.</li> <li>• H. Holland, "Adaptation in Natural and Artificial Systems", Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1975.</li> </ul> |
| <b>Bibliografía complementaria</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• D.E. Goldberg, "Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning" Addison Wesley Publishing Company, 1989.</li> <li>• L. Davis, "Handbook of Genetic Algorithms", Van Nostrand Reinhold, 1991.</li> <li>• Z. Michalewicz, "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs", Springer-Verlag, NY, 1992.</li> </ul>  |
| <b>Recursos necesarios</b>               | <p>Serán necesarios los siguientes recursos, todos ellos facilitados por la UVA o el profesor:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entorno de trabajo en la plataforma Moodle ubicado en el Campus Virtual de la Universidad de Valladolid.</li> <li>• Documentación de apoyo.</li> </ul>  |
| <b>Carga de trabajo en créditos ECTS</b> | 1 ECTS  |

| <b>Bloque 2: Introducción a las redes neuronales</b> |   |
|--|---|
| <b>Contextualización y justificación</b>             | <p>Este bloque consta de dos temas dedicados a las redes neuronales artificiales (RNA). En primer lugar se describen las analogías entre las neuronas biológicas y artificiales. Esto nos va a servir de introducción para estudiar las definiciones de RNA, así como su estructura general y las diferentes clasificaciones de RNA, donde se van a diferenciar principalmente entre las redes dinámicas y estáticas. Este tema se complementará con un trabajo de revisión del estado del arte realizado en grupo, donde se van a profundizar en las características de determinados tipos de RNA y se deberá exponer en público y un pequeño ejercicio práctico de programación con Matlab.</p> |
| <b>Objetivos de aprendizaje</b>                      | <p>Al finalizar este bloque temático, el alumno deberá ser capaz de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Describir los diferencias y semejanzas entre las neuronales biológicas y las artificiales.</li> <li>• Conocer las diferentes definiciones de ANN, así como sus estructuras generales.</li> <li>• Enumerar y describir los principales tipos de ANN en ámbito del procesado de señal.</li> <li>• Realizar una búsqueda bibliográfica del estado del arte en las aplicaciones de diferentes tipos de ANN.</li> </ul>  |
| <b>Contenidos</b>                                    | <p><b>TEMA 2: Introducción a las Redes Neuronales Artificiales (ANN)</b></p> <p>2.1 Introducción.<br/> 2.2 Estructura de las ANN.<br/> 2.3 Clasificación de las ANN.<br/> 2.4 Beneficios y aplicaciones.</p>  |

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
|                                   | <p><b>TEMA 3: Tipos de Redes Neuronales Artificiales (ANN)</b></p> <p>3.1 Introducción.<br/>3.2 Redes estáticas.<br/>3.3 Redes dinámicas.<br/>3.4 Trabajo práctico.</p>  |
| Métodos docentes                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Clase magistral participativa.</li> <li>• Estudio de casos.</li> <li>• Presentación participativa de trabajos.</li> </ul>   |
| Plan de trabajo                   | <p>Para este bloque hemos previsto realizar las siguientes actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicación teórica del temario.</li> <li>• Realización en grupo y exposición de un trabajo de revisión del estado del arte sobre tipos concretos de ANN.</li> <li>• Realización de un ejercicio práctico sobre ANN.</li> </ul>   |
| Evaluación                        | <p>La evaluación de la adquisición de competencias se basará en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Valoración de la actitud y participación del alumno en las actividades formativas.</li> <li>• Realización y exposición del trabajo en grupo.</li> <li>• Valoración de la actitud y participación del alumno en la realización y discusión de resultados relacionados con el trabajo práctico.</li> </ul> |
| Bibliografía básica               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C. M. Bishop, Neural Networks for Pattern Recognition. Ed. Oxford University Press, 1995.</li> <li>• S. Haykin, Neural Networks and Learning Machines. Ed. Prentice Hall, 2008 (tercera edición).</li> </ul>  |
| Bibliografía complementaria       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• P. D. Wasserman, Neural Computing : Theory and Practice, Chaos in dynamical systems, Ed. New York : Van Nostrand Reinhold, 1989.</li> </ul>   |
| Recursos necesarios               | <p>Serán necesarios los siguientes recursos, todos ellos facilitados por la UVA o el profesor:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entorno de trabajo en la plataforma Moodle ubicado en el Campus Virtual de la Universidad de Valladolid.</li> <li>• Documentación de apoyo.</li> </ul>   |
| Carga de trabajo en créditos ECTS | 2 ECTS   |

| Bloque 3: Métodos derivados de la teoría del caos y aplicación de parámetros no lineales |  |
|--|--|
| Contextualización y justificación  | <p>Este bloque consta de dos temas dedicados a los métodos derivados de la teoría del caos y otros parámetros no lineales. En primer lugar, se introduce el concepto de caos y los sistemas dinámicos caóticos. A continuación, se describe el atractor de un sistema y métodos para su reconstrucción mediante el método de retardos temporales. Esto nos llevará al concepto de fractal. Además, se estudian dos métodos derivados de la teoría del caos ampliamente utilizados: dimensión de correlación y exponentes de Lyapunov. Finalmente, se estudian otros parámetros no lineales utilizados en el procesado de señales, indicando su estimación y condiciones para poder ser aplicados. Se pretende que el alumno comprenda las ventajas e inconvenientes de</p> |

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
|                                 | <p>cada uno de ellas. Estos temas estas están acompañados de prácticas de laboratorio, donde el alumno tendrá que aplicar el conocimiento adquirido a señales simuladas y reales.</p>   |
| <b>Objetivos de aprendizaje</b> | <p>Al finalizar este bloque temático, el alumno deberá ser capaz de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprender el concepto de caos, atractor y fractal.</li> <li>• Reconstruir el atractor de un sistema mediante el método de retardos temporales.</li> <li>• Estimar la dimensión de correlación y mayor exponente de Lyapunov.</li> <li>• Comprender ventajas e inconvenientes de diferentes parámetros no lineales (entropía aproximada, entropía muestral, entropía en múltiples escalas, auto información mutua, medida de la tendencia central, análisis de fluctuaciones sin tendencias y complejidad de Lempel-Ziv).</li> <li>• Aplicar los diferentes parámetros no lineales a señales simuladas y reales.</li> </ul> |
| <b>Contenidos</b>               | <p><b>TEMA 4: Teoría del caos y dinámica no lineal</b></p> <p>4.1 Introducción.<br/>4.2 Relaciones causa-efecto.<br/>4.3 Antecedentes históricos. Fractales.<br/>4.4 Métodos derivados de la Teoría del Caos.</p> <p><b>TEMA 5: Métodos no lineales de procesamiento de señal</b></p> <p>5.1 Introducción.<br/>5.2 Medidas de complejidad.<br/>5.3 Entropías.<br/>5.4 Predicción no lineal.<br/>5.5 Otros métodos no lineales.<br/>5.6 Utilización de señales sintéticas.<br/>5.7 Práctica de laboratorio.</p>  |
| <b>Métodos docentes</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Clase magistral participativa.</li> <li>• Estudio de casos.</li> <li>• Prácticas de laboratorio.</li> </ul>  |
| <b>Plan de trabajo</b>          | <p>Para este bloque hemos previsto realizar las siguientes actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicación teórica del temario.</li> <li>• Realización de prácticas de laboratorio para aplicar parámetros no lineales a señales simuladas y reales.</li> <li>• Realización individual y exposición sobre un trabajo de revisión del estado del arte en un parámetro no lineal.</li> </ul>  |
| <b>Evaluación</b>               | <p>La evaluación de la adquisición de competencias se basará en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Valoración de la actitud y participación del alumno en las actividades formativas.</li> <li>• Valoración de la actitud y participación del alumno en las prácticas de laboratorio.</li> <li>• Realización y exposición del trabajo de forma individual.</li> </ul>  |
| <b>Bibliografía básica</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• G.L. Baker, J.L. Gollub, Chaotic dynamics: an introduction. Ed. Cambridge University Press, 1996.</li> <li>• H. Kantz, T. Schreiber, Nonlinear Time Series Analysis, Ed. Cambridge University Press, 2008 (segunda edición).</li> <li>• H.G. Schuster, W. Just, Deterministic Chaos: An Introduction. Ed. Wiley VCH, 2005.</li> <li>• S. Haykin, Neural Networks and Learning Machines. Ed. Prentice Hall, 2008 (tercera edición).</li> </ul>  |

|  |   |
|--|---|
| <b>Bibliografía complementaria</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>E. Ott, Chaos in dynamical systems, Ed. Cambridge University Press, 2002 (2nd ed.)</li> </ul>  |
| <b>Recursos necesarios</b>               | <p>Serán necesarios los siguientes recursos, todos ellos facilitados por la UVA o el profesor:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Entorno de trabajo en la plataforma Moodle ubicado en el Campus Virtual de la Universidad de Valladolid.</li> <li>Ordenadores con MATLAB para la realización de las prácticas de laboratorio.</li> <li>Documentación de apoyo.</li> </ul> |
| <b>Carga de trabajo en créditos ECTS</b> | 2 ECTS  |

### CRONOGRAMA (POR BLOQUES TEMÁTICOS)

| BLOQUE TEMÁTICO   | CARGA ECTS | PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO    |
|---|------------|-----------------------------------|
| Bloque 1: Introducción a los métodos de computación evolutiva aplicados a problemas de ingeniería | 1 ECTS     | Semanas 7 y 8<br>Semana 16        |
| Bloque 2: Introducción a las redes neuronales   | 2 ECTS     | Semanas 9 a 12<br>Semanas 17 y 18 |
| Bloque 3: Métodos derivados de la teoría del caos y aplicación de parámetros no lineales          | 2 ECTS     | Semanas 12 a 18                   |

### EVALUACIÓN - TABLA RESUMEN

| INSTRUMENTO/PROCEDIMIENTO   | PESO EN LA NOTA FINAL | OBSERVACIONES |
|---|-----------------------|---------------|
| Valoración de la actitud y participación del alumno en las actividades formativas en aula | 10%                   |               |
| Realización de las prácticas de laboratorio   | 40%                   |               |
| Realización y presentación del trabajo individual   | 25%                   |               |
| Realización y presentación del trabajo en grupo   | 25 %                  |               |



---

## CONSIDERACIONES FINALES

- Las exposiciones y discusiones de trabajos relacionados con el Bloque 1 se realizarán según turnos y horario acordado con el profesor, dependiendo del número de alumnos matriculados.
- Cada alumno deberá hacer una pequeña presentación oral del trabajo práctico realizado en el Bloque 2. A cada alumno se le informará de su turno de presentación a lo largo del curso. Asimismo se realizará una discusión grupal de los resultados de un ejercicio práctico sobre el Bloque 2, para la cual los alumnos deberán preparar algo de material que se especificará a lo largo del curso.
- Cada alumno deberá presentar los resultados obtenidos en las prácticas correspondientes al Bloque 3. A cada alumno se le informará de su turno de presentación a lo largo del curso.