

SEMESTRE	CRÉDITOS	CARÁCTER	TIPO DE ENSEÑANZA	IDIOMA DE IMPARTICIÓN
2º	6ECTS	Optativa	Presencial	Español
MÓDULO		BIOMATEMÁTICAS		
MATERIA		<b>Física de Redes Complejas y Aplicaciones Interdisciplinarias</b>		
CENTRO RESPONSABLE DEL TÍTULO		Escuela Internacional de Posgrado		
MÁSTER EN EL QUE SE IMPARTE		<b>Máster Universitario en Física y Matemáticas (FISYMAT)</b>		
CENTRO EN EL QUE SE IMPARTE LA DOCENCIA		Facultad de Ciencias		
PROFESORES <sup>(1)</sup>				
Joaquín Javier Torres Agudo				
DIRECCIÓN		Departamento de Electromagnetismo y Física de la Materia, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada <a href="mailto:jtorres@onsager.ugr.es">jtorres@onsager.ugr.es</a> , (despacho 12) telefono 958241000 (ext 20188)		
TUTORÍAS		Martes y Jueves de 11:30 a 13:30		
Miguel Ángel Muñoz Martínez				
DIRECCIÓN		Departamento de Electromagnetismo y Física de la Materia, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada <a href="mailto:mamunoz@onsager.ugr.es">mamunoz@onsager.ugr.es</a> (despacho 5) Teléfono: 958240033		
TUTORÍAS		Martes y Jueves de 11:30 a 13:30		
COMPETENCIAS GENERALES Y ESPECÍFICAS				

<sup>1</sup> Consulte posible actualización en Acceso Identificado > Aplicaciones > Ordenación Docente

(∞) Esta guía docente debe ser cumplimentada siguiendo la "Normativa de Evaluación y de Calificación de los estudiantes de la Universidad de Granada" (<http://secretariageneral.ugr.es/pages/normativa/fichasugr/ngc7121/>!)

## COMPETENCIAS BÁSICAS Y GENERALES

- CG1: Saber trabajar en un equipo multidisciplinar y gestionar el tiempo de trabajo.
- CG2: Capacidad de generar y desarrollar de forma independiente propuestas innovadoras y competitivas en la investigación y en la actividad profesional en el ámbito científico de la Física y Matemáticas
- CG3: Presentar públicamente los resultados de una investigación o un informe técnico, comunicar las conclusiones a un tribunal especializado, personas u organizaciones interesadas, y debatir con sus miembros cualquier aspecto relativo a los mismos
- CG4: Saber comunicarse con la comunidad académica y científica en su conjunto, con la empresa y con la sociedad en general acerca de la Física y/o Matemáticas y sus implicaciones académicas, productivas o sociales.
- CG5: Adquirir la capacidad de desarrollar un trabajo de investigación científica de forma independiente y en toda su extensión. Ser capaz de buscar y asimilar bibliografía científica, formular las hipótesis, plantear y desarrollar problemas y elaborar de conclusiones de los resultados obtenidos.
- CG6: Adquirir la capacidad de diálogo y cooperación con comunidades científicas y empresariales de otros campos de investigación, incluyendo ciencias sociales y naturales.

## COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

- CE1: Resolver problemas físicos y matemáticos, planificando su resolución en función de las herramientas disponibles y de las restricciones de tiempo y recursos
- CE2: Desarrollar la capacidad de decidir las técnicas adecuadas para resolver un problema concreto con especial énfasis en aquellos problemas asociados a la Modelización en Ciencias e Ingeniería, Astrofísica, Física, y Matemáticas
- CE4: Tener capacidad para elaborar y desarrollar razonamientos físicos avanzados, y profundizar en los distintos campos de la física y astrofísica.
- CE5: Saber obtener e interpretar datos de carácter físico y/o matemático que puedan ser aplicados en otras ramas del conocimiento
- CE6: Demostrar la capacidad necesaria para realizar un análisis crítico, evaluación y síntesis de resultados e ideas nuevas y complejas en el campo de la astrofísica, física, matemáticas y biomatemáticas.
- CE7: Capacidad para comprender y poder aplicar conocimientos avanzados de matemáticas y métodos numéricos o computacionales a problemas de biología, física y astrofísica, así como elaborar y desarrollar modelos matemáticos en ciencias, biología e ingeniería.
- CE8: Capacidad de modelar, interpretar y predecir a partir de observaciones experimentales y datos numéricos.

## COMPETENCIAS TRANSVERSALES

- CT1: Fomentar el espíritu innovador, creativo y emprendedor.
- CT2: Garantizar y fomentar el respeto a los Derechos Humanos y a los principios de igualdad, accesibilidad universal, no discriminación y los valores democráticos y de la cultura de la paz.



- CT3: Desarrollar el razonamiento crítico y la capacidad de crítica y autocrítica.
- CT4: Comprender y reforzar la responsabilidad y el compromiso éticos y deontológicos en el desempeño de la actividad profesional e investigadora y como ciudadano.
- CT5: Capacidad de aprendizaje autónomo y responsabilidad (análisis, síntesis, iniciativa y trabajo en equipo).

#### OBJETIVOS O RESULTADOS DE APRENDIZAJE (SEGÚN LA MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL TÍTULO)

##### **El alumno sabrá/comprenderá:**

- Comprensión del concepto de red compleja en física y matemáticas, en particular el concepto grafo aleatorio, red invariante de escala, red pequeño mundo y redes multiplex.
- Comprensión del concepto de distribución de probabilidad de nodos, de correlaciones entre nodos, de modularidad y extracción de comunidades en redes complejas.
- Comprensión del concepto de redes multiplex.
- Comprender el concepto de red social y red metabólica.
- Comprender el concepto de una red neuronal y los mecanismos dinámicos involucrados en la misma, como los mecanismos de generación de actividad eléctrica y de transmisión sináptica, en diferentes grados de descripción.
- Comprender el concepto de aprendizaje, recuerdo y estabilidad de estados atractivos en redes de neuronas complejas.
- Comprender el concepto de red neuronal compleja evolutiva y el concepto de poda sináptica.

##### **El alumno será capaz de:**

- Entender la dinámica de redes complejas generadas por “unión preferencial” (*preferential attachment*).
- Entender la propiedad de “pequeño mundo” en redes complejas.
- Entender la física subyacente y fenómenos emergentes en redes complejas sociales. Entender la dinámica de la estructura de las redes sociales.
- Entender la física subyacente y fenómenos emergentes en otras redes complejas como redes tróficas y redes metabólicas.
- Entender la física subyacente y fenómenos emergentes en las redes neuronales complejas.
- Capacidad para simular por ordenador diferentes tipos de redes complejas y estudiar sus propiedades emergentes.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (SEGÚN LA MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL TÍTULO)

##### **A. Concepto de red compleja:**

- A.1 Teoría de grafos aleatorios, redes invariantes de escala (*scale free*) y “pequeño mundo” (*small world*).
- A.2 Correlaciones en redes complejas, asortatividad y disasortatividad.
- A.3 Redes multiplex.



## B. Redes neuronales:

- B.1. El cerebro como paradigma de sistema complejo, estructura, funciones y diferentes formas de medir su actividad.
- B.2 Conceptos básicos de los procesos biológicos en una red neuronal. Modelado biofísico de la actividad neuronal, Modelo de Hodgkin-Huxley. Modelo de FitzHugh-Nagumo. Modelo de integración y disparo. Modelos de sinapsis: función alpha. Sinapsis dinámicas, Modelo de Tsodyks-Markram.
- B.3. Redes neuronales atrayentes, modelo de Amari-Hopfield, diagrama de fases y capacidad crítica de almacenamiento. Redes diluidas y conectividad no uniforme. Redes neuronales de procesamiento hacia delante (Perceptrón).
- B.4. Aprendizaje y generalización. Regla de Hebb. Aplicaciones de las redes neuronales.
- B.5 Modelos simples de actividad neuronal: modelos de tasa de disparo (rate models). Modelo de Wilson-Cowan. Modelos de tipo Fokker-Planck.

C. Redes en biología de sistemas (redes genéticas). Redes Booleanas. GAprendizaje de redes. Genotipo vs fenotipo. Atractores y fenotipos.

D. Redes en ecología (redes tróficas, mutualistas, etc). Estabilidad. Anidamiento y otras propiedades estructurales.

## E. Redes sociales:

- E.1. Métodos de la física estadística en el contexto de modelos sociales. Conceptos básicos: orden y desorden, modelo de Ising, importancia de la topología (redes de escala libre y acotada), dinámica de Glauber.
- E.2. Los fenómenos sociales vistos desde el modelado. Definición de parámetros físico-matemáticos. Elementos sociales en el comportamiento humano; parametrización, componentes principales. Grupos sociales y presión social. Jerarquía social: topologías de las interacciones sociales. Decisiones en el entorno social; componentes de la reacción individual hacia el entorno social.
- E.3. Modelos de dinámica social: Dinámica de opiniones; Dinámica cultural: modelo de Axelrod
- E.4. Redes sociales: Redes sociales por ordenador, Facebook, Twitter, LinkedIn, etc. Análisis de las características y de la estructura interna de la red.

### TEMARIO DETALLADO DE LA ASIGNATURA

- Tema 1: Breve introducción a los sistemas complejos. Concepto de Red Compleja
- Tema 2: Red compleja como ejemplo de sistema complejo: concepto de grafo, matriz de adyacencia, grafos aleatorios, redes dirigidas y no dirigidas, redes pesadas. Distribución de nodos. Redes invariantes de escala. Redes de pequeño mundo. Correlaciones nodo-nodo: coeficiente de Pearson, redes asortativas y disasortativas. Estructura modular. Redes jerárquicas. Redes multiplex.



- Tema 3: El cerebro como paradigma de sistema y red compleja. Estructura y función: matrices de conectividad (DTI), y actividad (mutielectrodos, EEG, MEG, fMRI).
- Tema 4: Redes de neuronas: Concepto de red neuronal, modelos de actividad neuronal y transmisión sináptica, modelo de Hodgkin-Huxley, modelos de integración y disparo, modelos de neuronas binarios. Modelos de sinapsis: función alfa, excitación e inhibición, modelos exponenciales, sinapsis dinámicas, modelo de Tsodyks-Markram. Redes neuronales atrayentes: modelo de Amari-Hopfield, aprendizaje Hebbiano, capacidad de una red neuronal. Redes feed-forward: Perceptron. Modelos de tasa de disparo: modelo de Wilson-Cowan. Modelos tipo Fokker-Planck. Redes neuronales balanceadas: Balance homeoestático en redes neuronales complejas, estados UP/DOWN en el córtex.
- Tema 5: Concepto de conectoma: construcción de conectomas, propiedades estructurales de los conectomas cerebrales, comparativa de conectomas, propiedades computacionales.
- Tema 6: Redes sociales: Métodos de la física estadística en el contexto de modelos sociales. Conceptos básicos: orden y desorden, modelo de Ising, importancia de la topología (redes de escala libre y acotada), dinámica de Glauber. Fenómenos sociales como fenómenos cooperativos/emergentes. Modelos de dinámica social: Dinámica de opiniones y dinámica cultural: modelo de Axelrod. Redes sociales e internet. Modelos de epidemias y propagación de virus en redes.
- Tema 7: Redes en ecología: Redes tróficas. Estabilidad y paradoja de May. Redes mutualistas. Propiedad de anidamiento y otras propiedades estructurales.
- Tema 8: Redes en biología de Sistemas. Concepto de red de regulación genética. Cáncer y enfermedades sistémicas. Redes booleanas aleatorias. Genotipo vs fenotipo. Atractores y fenotipos.

#### BIBLIOGRAFÍA

- The structure and function of complex networks, M. E. J. Newman, *SIAM Review* 45, 167-256 (2003).
- Statistical mechanics of complex networks R. Albert and A.L. Barabási *Reviews of modern physics* 74, 47-97 (2002).
- Complex networks: Structure and dynamics, Boccaletti, S.; Latora, V.; Moreno, Y.; Chavez, M.; Hwang, D.-U. *Physics Reports*, 424(4-5), 175-308 (2006).
- Multilayer Networks Structure and Function, Ginestra Bianconi. Oxford University Press (2018).
- Modelling Brain Function D. J. Amit. Cambridge University Press (1989).
- An introduction to the modelling of neural networks P. Peretto. Cambridge University Press



(1992).

#### ENLACES RECOMENDADOS (OPCIONAL)

#### METODOLOGÍA DOCENTE

##### ACTIVIDADES FORMATIVAS:

AF0: Clases teóricas: 37 horas. Presencialidad: 100%

AF1: Clases prácticas, de observación o laboratorio: 4 horas. Presencialidad: 100%

AF2 Seminarios: 1 hora. Presencialidad 100%

AF3 Trabajo autónomo del estudiante: 108 horas. Presencialidad 0%

##### METODOLOGÍAS DOCENTES:

MD0: Lección magistral

MD1: Resolución de problemas y estudio de casos prácticos

MD3: Seminarios

MD4: Tutorías académicas

MD5: Realización de trabajos individuales y/o en grupos

#### EVALUACIÓN (INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN, CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y PORCENTAJE SOBRE LA CALIFICACIÓN FINAL, ETC.)

##### CONVOCATORIA ORDINARIA

E1: Valoración de las pruebas, ejercicios, prácticas o problemas realizados individualmente o en grupo a lo largo del curso (80%-90%)

E2: Realización, exposición y defensa final de informes, trabajos, proyectos y memorias realizadas de forma individual o en grupo (10%-20%)

E4: Valoración de la asistencia y participación del alumno en clase y en los seminarios, y sus aportaciones en las actividades desarrolladas (10%-20%)

##### CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA

Igual que en la convocatoria ordinaria

#### DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS QUE FORMARÁN PARTE DE LA EVALUACIÓN ÚNICA FINAL ESTABLECIDA EN LA *NORMATIVA DE EVALUACIÓN Y DE CALIFICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA*

- Los alumnos que así lo deseen podrán optar alternativamente por una evaluación final única en forma de examen. Esta modalidad de evaluación estará formada por todas aquellas pruebas que el profesor estime oportunas, de forma que se pueda acreditar que el estudiante ha adquirido la totalidad de las competencias generales, específicas y transversales descritas en el apartado correspondiente de esta Guía Docente.

#### ESCENARIO A (ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PRESENCIAL Y NO PRESENCIAL)



ATENCIÓN TUTORIAL	
HORARIO (Según lo establecido en el POD)	HERRAMIENTAS PARA LA ATENCIÓN TUTORIAL (Indicar medios telemáticos para la atención tutorial)
Martes y Jueves de 11:30 a 13:30	Correo electrónico, foros en la plataforma de docencia, videoconferencia (zoom, skype, Google meet u otras plataformas disponibles).

#### MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE

Dependiendo del número de alumnos matriculados en la asignatura y de la capacidad del aula, las clases se podrán dar de forma presencial. Los alumnos que así lo necesiten podrán asistir utilizando las salas de videoconferencia asociadas al máster.

Si el número de alumnos es muy elevado y es imposible la reserva de un aula más grande, las clases se impartirán de forma virtual o el grupo se dividirá en tantos subgrupos como fuese necesario. Las sesiones de las clases presenciales se alternarán entre los subgrupos creados. En cada sesión, los subgrupos que no tengan clase presencial, asistirán de forma remota y síncrona a través de las salas de videoconferencia habilitadas en el máster.

#### MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA EVALUACIÓN (Instrumentos, criterios y porcentajes sobre la calificación final)

##### Convocatoria Ordinaria

La evaluación es continua. Los trabajos se entregan en las plataformas docentes correspondientes. Las defensas se pueden hacer por videoconferencia.

La revisión se realizará a través de correo electrónico, teléfono o videoconferencia a petición del alumnado.

##### Convocatoria Extraordinaria

Si no fuese posible la evaluación presencial, se hará remotamente utilizando un sistema de videoconferencia.

Las calificaciones se notificarán a través de las actas preliminares, correo electrónico o mediante la plataforma de docencia. La revisión se realizará a través de correo electrónico, teléfono o video conferencia a petición del alumnado.

##### Evaluación Única Final

Si no fuese posible la evaluación presencial, se hará remotamente utilizando un sistema de videoconferencia.

Las calificaciones se notificarán a través de las actas preliminares, correo electrónico o mediante la plataforma de docencia. La revisión se realizará a través de correo electrónico, teléfono o video conferencia a petición del alumnado.

La solicitud de esta modalidad dependerá de la sede en la que esté matriculado el alumno.

### ESCENARIO B (SUSPENSIÓN DE LA ACTIVIDAD PRESENCIAL)

ATENCIÓN TUTORIAL	
HORARIO (Según lo establecido en el POD)	HERRAMIENTAS PARA LA ATENCIÓN TUTORIAL (Indicar medios telemáticos para la atención tutorial)
Martes y Jueves de 11:30 a 13:30	Correo electrónico, foros en la plataforma de docencia, videoconferencia (zoom, skype, Jitsi, Google meet u otras



plataformas disponibles).

#### MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE

- **Clases virtuales.** Se realizarán clases virtuales de teoría en el formato de videoconferencia (Google Meet, Jitsi, Skype o similares), en el horario usual acordado. En el caso de que haya grupos numerosos, se podrá dividir las clases en dos grupos, con la mitad del alumnado 2 horas a la semana y con la otra mitad las dos horas restantes.
- **Materiales e-learning:**  
**Vídeoclases.** Se crearán vídeos para impartir los contenidos teóricos que se distribuirán al alumnado. Estos contenidos revisionables se usarán para fomentar el estudio asíncrono y mitigar la brecha digital.

#### MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA EVALUACIÓN (Instrumentos, criterios y porcentajes sobre la calificación final)

##### Convocatoria Ordinaria

La evaluación es continua. Los trabajos se entregan en las plataformas docentes correspondientes o por correo electrónico. Las posibles defensas se pueden hacer por videoconferencia (Google Meet, Skype o similares)

La revisión se realizará a través de correo electrónico, teléfono o videoconferencia a petición del alumnado.

##### Convocatoria Extraordinaria

Al igual que la ordinaria, se hará remotamente utilizando un sistema de videoconferencia.

Las calificaciones se notificarán a través de las actas preliminares, correo electrónico o mediante la plataforma de docencia. La revisión se realizará a través de correo electrónico, teléfono o videoconferencia a petición del alumnado.

##### Evaluación Única Final

Se hará siempre remotamente utilizando un sistema de videoconferencia.

Las calificaciones se notificarán a través de las actas preliminares, correo electrónico o mediante la plataforma de docencia. La revisión se realizará a través de correo electrónico, teléfono o videoconferencia a petición del alumnado.

La solicitud de esta modalidad dependerá de la sede en la que esté matriculado el alumno.

