Guía docente de la asignatura

Física de Redes Complejas y Aplicaciones Interdisciplinares (M53/56/4/11)

Fecha de aprobación por la Comisión Académica: 02/07/2025

Máster	Máster Universitario en Física y Matemáticas - Fisymat
MÓDULO	Módulo II : Biomatemática
RAMA	Ciencias
CENTRO RESPONSABLE DEL TÍTULO	Escuela Internacional de Posgrado

Semestre	Segundo	**Créditos**	6	**Tipo**	Optativa	**Tipo de enseñanza**	Presencial

PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES

Haber cursado un grado en Física y/o Matemáticas. Conocimientos en programación y uso de los ordenadores.

BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (Según memoria de verificación del Máster)

1. Concepto de red compleja:
   - Teoría de grafos aleatorios, redes invariantes de escala (scale free) y "pequeño mundo" (small world).
   - Correlaciones en redes complejas, asortatividad y disasortatividad
   - Redes multiplex.
2. Redes neuronales
   - El cerebro como paradigma de sistema complejo, estructura, funciones y diferentes formas de medir su actividad.
   - 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.
   - Redes neuronales atrayentes, modelo de Amari-Hopfield, diagrama de fases y capacidad crítica de almacenamiento. Redes diluidas y conectividad no uniforme. Redes neuronales de procesado hacia delante (Perceptrón).

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/
Código seguro de verificación (CSV): A87699F7EAAE8C36A663EACC2171325E
06/05/2026 - 10:56
Pág. 1 de 7

- Aprendizaje y generalización. Regla de Hebb. Aplicaciones de las redes neuronales.
- Modelos simples de actividad neuronal: modelos de tasa de disparo (rate models).
- Modelo de Wilson-Cowan. Modelos de tipo Fokker-Planck.

3. Redes en biología de sistemas (redes genéticas). Redes Booleanas. GAprendizaje de redes. Genotipo vs fenotipo. Atractores y fenotipos.
4. Redes en ecología (redes tróficas, mutualistas, etc). Estabilidad. Anidamiento y otras propiedades estructurales.
5. 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.
   - Los fenómenos sociales vistos desde el modelado. Definición de parámetros físicomatemáticos. 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 se la reacción individual hacia el entorno social.
   - Modelos de dinámica social: Dinámica de opiniones; Dinámica cultural: modelo de Axelrod
   - Redes sociales: Redes sociales por ordenador, Facebook, Twitter, LinkedIn, etc. Análisis de las características y de la estructura interna de la red.

COMPETENCIAS

COMPETENCIAS BÁSICAS

- CB6 - Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.
- CB7 - Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.
- CB8 - Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.
- CB9 - Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.
- CB10 - Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

COMPETENCIAS GENERALES

- CG01 - Saber trabajar en un equipo multidisciplinar y gestionar el tiempo de trabajo
- CG02 - 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
- CG03 - Presentar públicamente los resultados de una investigación o un informe técnico, comunicar las conclusiones a un tribunal especializado, personas u organizaciones

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/
Código seguro de verificación (CSV): A87699F7EAAE8C36A663EACC2171325E
06/05/2026 - 10:56
Pág. 2 de 7

interesadas, y debatir con sus miembros cualquier aspecto relativo a los mismos
- CG04 - 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
- CG05 - 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
- CG06 - Adquirir la capacidad de diálogo y cooperación con comunidades científicas y empresariales de otros campos de investigación, incluyendo ciencias sociales y naturales

COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

- CE01 - Resolver problemas físicos y matemáticos, planificando su resolución en función de las herramientas disponibles y de las restricciones de tiempo y recursos
- CE02 - 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
- CE04 - Tener capacidad para elaborar y desarrollar razonamientos físicos avanzados, y profundizar en los distintos campos de la física y astrofísica
- CE05 - Saber obtener e interpretar datos de carácter físico y/o matemático que puedan ser aplicados en otras ramas del conocimiento
- CE06 - 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
- CE07 - 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.
- CE08 - Capacidad de modelar, interpretar y predecir a partir de observaciones experimentales y datos numéricos

COMPETENCIAS TRANSVERSALES

- CT01 - Fomentar el espíritu innovador, creativo y emprendedor
- CT02 - Garantizar y fomentar el respecto 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
- CT03 - Desarrollar el razonamiento crítico y la capacidad de crítica y autocrítica
- CT04 - Comprender y reforzar la responsabilidad y el compromiso éticos y deontológicos en el desempeño de la actividad profesional e investigadora y como ciudadano
- CT05 - Capacidad de aprendizaje autónomo y responsabilidad (análisis, síntesis, iniciativa y trabajo en equipo

COMPETENCIAS

COMPETENCIAS BÁSICAS

- CB6 - Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/ 06/05/2026 - 10:56
Código seguro de verificación (CSV): A87699F7EAAE8C36A663EACC2171325E Pág. 3 de 7

investigación.
- CB7 - Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.
- CB8 - Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.
- CB9 - Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.
- CB10 - Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

COMPETENCIAS GENERALES

- CG01 - Saber trabajar en un equipo multidisciplinar y gestionar el tiempo de trabajo
- CG02 - 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
- CG03 - 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
- CG04 - 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
- CG05 - 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
- CG06 - Adquirir la capacidad de diálogo y cooperación con comunidades científicas y empresariales de otros campos de investigación, incluyendo ciencias sociales y naturales

COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

- CE01 - Resolver problemas físicos y matemáticos, planificando su resolución en función de las herramientas disponibles y de las restricciones de tiempo y recursos
- CE02 - 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
- CE04 - Tener capacidad para elaborar y desarrollar razonamientos físicos avanzados, y profundizar en los distintos campos de la física y astrofísica
- CE05 - Saber obtener e interpretar datos de carácter físico y/o matemático que puedan ser aplicados en otras ramas del conocimiento
- CE06 - 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
- CE07 - 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.
- CE08 - Capacidad de modelar, interpretar y predecir a partir de observaciones

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/
Código seguro de verificación (CSV): A87699F7EAAE8C36A663EACC2171325E
06/05/2026 - 10:56
Pág. 4 de 7

experimentales y datos numéricos

COMPETENCIAS TRANSVERSALES

- CT01 - Fomentar el espíritu innovador, creativo y emprendedor
- CT02 - Garantizar y fomentar el respecto 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
- CT03 - Desarrollar el razonamiento crítico y la capacidad de crítica y autocrítica
- CT04 - Comprender y reforzar la responsabilidad y el compromiso éticos y deontológicos en el desempeño de la actividad profesional e investigadora y como ciudadano
- CT05 - Capacidad de aprendizaje autónomo y responsabilidad (análisis, síntesis, iniciativa y trabajo en equipo

RESULTADOS DE APRENDIZAJE (Objetivos)

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 atrayentes 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.

PROGRAMA DE CONTENIDOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

TEÓRICO

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/ 06/05/2026 - 10:56
Código seguro de verificación (CSV): A87699F7EAAE8C36A663EACC2171325E Pág. 5 de 7

- 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 connectividad (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.

PRÁCTICO

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL

1. The structure and function of complex networks, M. E. J. Newman, SIAM Review 45, 167-256 (2003).
2. Statistical mechanics of complex networks R. Albert and A.L. Barabási Reviews of modern physics 74, 47-97 (2002).
3. Complex networks: Structure and dynamics, Boccaletti, S.; Latora, V.; Moreno, Y.; Chavez, M.; Hwang, D.-U. Physics Reports, 424(4-5), 175-308 (2006).
4. Multilayer Networks Structure and Function, Ginestra Bianconi. Oxford University Press (2018).
5. Modelling Brain Function D. J. Amit. Cambridge University Press (1989).
6. An introduction to the modelling of neural networks P. Peretto. Cambridge University Press (1992)
7. Trophic coherence determines food-web stability, S Johnson, V Domínguez-García, L

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/
Código seguro de verificación (CSV): A87699F7EAAE8C36A663EACC2171325E
06/05/2026 - 10:56
Pág. 6 de 7

Donetti, MA Munoz, Proceedings of the National Academy of Sciences 111 (50), 17923-17928

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

METODOLOGÍA DOCENTE

- MD01 Lección magistral
- MD02 Resolución de problemas y estudio de casos prácticos
- MD04 Seminarios
- MD05 Tutorías académicas
- MD06 Realización de trabajos individuales o en grupos

EVALUACIÓN (instrumentos de evaluación, criterios de evaluación y porcentaje sobre la calificación final)

EVALUACIÓN 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%)

EVALUACIÓN EXTRAORDINARIA

Igual que en la convocatoria ordinaria

EVALUACIÓN ÚNICA FINAL

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.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Información de interés para estudiantado con discapacidad y/o Necesidades Específicas de Apoyo Educativo (NEAE): Gestión de servicios y apoyos (https://ve.ugr.es/servicios/atencion-social/estudiantes-con-discapacidad).

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/
Código seguro de verificación (CSV): A87699F7EAAE8C36A663EACC2171325E
06/05/2026 - 10:56
Pág. 7 de 7