

Física de Redes Complejas y Aplicaciones Interdisciplinares

MÓDULO	MATERIA	ASIGNATURA	CURSO	SEMESTRE	CRÉDITOS	CARÁCTER
Biomatemática	Física de Redes Complejas y Aplicaciones Interdisciplinares	Física de Redes Complejas y Aplicaciones Interdisciplinares	1	2	6ECTS	Optativa
PROFESOR(ES)			DIRECCIÓN COMPLETA DE CONTACTO PARA TUTORÍAS (Dirección postal, teléfono, correo electrónico, etc.)			
Joaquín Javier Torres Agudo Miguel Ángel Muñoz Martínez			Departamento de Electromagnetismo y Física de la Materia, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada			
			jtorres@onsager.ugr.es , (despacho 12) teléfono 958241000 (ext 20188)			
			mamunoz@onsager.ugr.es (despacho 5) Teléfono: 958240033			
			HORARIO DE TUTORÍAS			
			Martes y Jueves de 11:30 a 13:30			
MÁSTER EN EL QUE SE IMPARTE			OTROS MÁSTERES A LOS QUE SE PODRÍA OFERTAR			
Física y Matemáticas - FisyMat			Máster doble MAES-FisyMat Máster en Física: Radiaciones, Nanotecnología, Partículas y Astrofísica			
PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES (si procede)						
Física estadística, Física de los sistemas complejos						



BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (SEGÚN MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL MÁSTER)

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

COMPETENCIAS GENERALES Y ESPECÍFICAS DEL MÓDULO

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.

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.

Transversales:

CT1: Fomentar el espíritu innovador, creativo y emprendedor.

CT2: 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.

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 (EXPRESADOS COMO RESULTADOS ESPERABLES DE LA ENSEÑANZA)

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.



ugr

Universidad
de Granada

- 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.

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 cortex.

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



ugr

Universidad
de Granada

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 mutualista. Propiedad de anidamiento y otras propiedades estructurales.

Tema 8: Redes en biología de Sistemas. Concepto de red de regulación genética. Cancer 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).
- Modeling Brain Function D. J. Amit. Cambridge University Press (1989).

ENLACES RECOMENDADOS

METODOLOGÍA DOCENTE

ACTIVIDADES FORMATIVAS:



ugr

Universidad
de Granada

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.)

E1: Valoración de las pruebas, ejercicios, prácticas or 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%)

INFORMACIÓN ADICIONAL



ugr

Universidad
de Granada