

MÓDULO	MATERIA	CURSO	SEMESTRE	CRÉDITOS	TIPO
Física de Sistemas Complejos	Física de Sistemas Complejos	4º	2º	6	Optativa
PROFESOR <sup>(1)</sup> :			DIRECCIÓN COMPLETA DE CONTACTO PARA TUTORÍAS		
Miguel Ángel Muñoz Martínez. Matteo Sireci Guillermo Barrios Morales			Dpto. Electromagnetismo y Física de la Materia, Planta baja, Facultad de Ciencias. Desp. 2 Correos electrónicos: <a href="mailto:mamunoz@ugr.es">mamunoz@ugr.es</a> <a href="mailto:msireci@onsager.ugr.es">msireci@onsager.ugr.es</a> , <a href="mailto:guillermobm@onsager.ugr.es">guillermobm@onsager.ugr.es</a>		
			HORARIO DE TUTORÍAS Y/O ENLACE A LA PÁGINA WEB DONDE PUEDAN CONSULTARSE LOS HORARIOS DE TUTORÍAS <sup>(1)</sup>		
			Lunes y miércoles, de 11 a 14 horas <a href="https://ergodic.ugr.es/fe/">https://ergodic.ugr.es/fe/</a>		
GRADO EN EL QUE SE IMPARTE			OTROS GRADOS A LOS QUE SE PODRÍA OFERTAR		
Grado en FÍSICA			MATEMATICAS, BIOLOGIA, GEOLOGIA.		
PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES (si procede)					
Estar terminando el grado, a ser posible habiendo cursado "Física Estadística". Es muy conveniente haber cursado "Física Computacional".					
BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (SEGÚN MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL GRADO)					

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

Complejidad. No-linealidad. Emergencia. Propiedades colectivas o cooperativas. Cambios de Fase. Ruptura espontánea de simetría. Automatas y sistemas reticulares con interacciones. Puntos críticos. Geometría fractal. Invariancia de escala. Leyes de potencia. Caos. Universalidad. Ruido y fluctuaciones. Ecuaciones de Langevin y Fokker-Planck. Difusión. Redes complejas. Aplicaciones recientes en física y sus extensiones a biología de sistemas, neurociencia, ecología teórica, etc.

#### COMPETENCIAS GENERALES Y ESPECÍFICAS

Transversales: las usuales, CT1 a CT10, con énfasis en CT4 (Conocimientos de informática), CT8 (Razonamiento crítico) y CT10 (Creatividad). Específicas: las usuales, con énfasis en CE5 (Modelar fenómenos complejos, trasladando problemas al lenguaje matemático)

#### OBJETIVOS (EXPRESADOS COMO RESULTADOS ESPERABLES DE LA ENSEÑANZA)

El alumno, llegado a este curso, ya conoce las descripciones microscópica y macroscópica de la física —tal como son proporcionadas, respectivamente, por las mecánicas clásica y cuántica y por la termodinámica, por ejemplo— y ha contactado con la física estadística, que relaciona con rigor esas descripciones en el caso de sistemas en equilibrio termodinámico. Pero el equilibrio termodinámico es una circunstancia especial que no suele darse en muchos casos de interés en física y en otras ciencias como, por ejemplo, cuando se establece turbulencia en un fluido, o cuando unos compuestos químicos logran formar el primer indicio de vida independiente, o cuando el sistema nervioso consigue funciones del más alto nivel. Es entonces relevante el concepto de *sistema complejo*, capaz de mostrar una rica fenomenología debida a la presencia de efectos colectivos, cooperativos o emergentes. El estudio reciente en física de sistemas complejos ha llevado al desarrollo de potentes métodos de análisis tanto matemáticos como computacionales y ha generado nuevos conceptos y paradigmas. Todo ello ha trascendido las fronteras de la física hasta invadir los fundamentos de otras ciencias, incluyendo biología, la ecología, la neurociencia, etc. Es ésta la situación que se propone describir la asignatura, a la vez que pretende ayudar al alumno a 1) desarrollar sus habilidades para analizar y plasmar mediante algoritmos lo esencial en sistemas y procesos naturales, aprendiendo así a resolver con eficacia y precisión problemas diversos, y 2) usar ordenadores de modo creativo en la modelización de situaciones de interés en ciencia y aplicaciones tecnológicas.

#### TEMARIO DETALLADO DE LA ASIGNATURA

1. Introducción. Complejidad. Orden y entropía en la naturaleza. Efectos cooperativos en física estadística. Escalas y niveles de descripción. No-linealidad. Predictabilidad. Medidas de complejidad.
2. Teoría de sistemas dinámicos. Introducción a la teoría de sistemas dinámicos y caos (Poincaré. Lorenz. May. Feigenbaum). Mapas no lineales. Puntos fijos, ciclos límite y atractores extraños. Teoría de estabilidad en ecuaciones diferenciales unidimensionales y bidimensionales. Teoría de bifurcaciones y catástrofes. Coeficientes de Lyapunov. Universalidad. Integrabilidad y caos hamiltoniano.



3. Invariancia de escala. Leyes de potencia. Mecanismos de generación de leyes de potencias. Geometría fractal. Regularidad, aleatoriedad y auto-semejanza. Dimensión Hausdorff o dimension fractal. (Multifractalidad). Rugosidad y estructuras auto-afines.

4. Teoría de procesos estocásticos. Breve introducción histórica. Movimiento Browniano. Caminante aleatorio. Teoría de Einstein. Experimentos de Perrin. Procesos de Markov. Ecuación maestra. Ecuaciones estocásticas: Langevin y Fokker Planck. Integrales de camino. Vuelos de Levy.

5. Teoría de cambios de fase (I): Percolación. Invariancia de escala en el punto crítico. Introducción al grupo de renormalización. Percolación dinámica (incendios forestales). Percolación dirigida y el proceso de contacto.

6. Teoría de cambios de fase (II): Curva de Guggenheim y universalidad. Modelos reticulares (Heisenberg, XY, etc.). Modelo de Ising. Ruptura espontánea de simetría. Parámetro de orden y parámetro de control. Correlaciones y fluctuaciones. Exponentes críticos y leyes de escala. Teoría de campo medio. Teoría de Ginzburg Landau. Criterio de Ginzburg. Bloques de Kadanoff y renormalización en espacio real.

7. Auto-organización y criticalidad. Pilas de arena. Terremotos. Criticalidad en biología.

8. Otros conceptos: Introducción a la teoría de redes complejas. Teoría de juegos evolutiva. Aplicaciones: Neurociencia, Ecología teórica y evolutiva, Biología de sistemas, etc.

#### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- D. Sornette, Critical Phenomena in Natural Sciences, Springer 2009.
- J. Sethna, Entropy, Order parameters and Complexity. Oxford 2015.
- **J.J. Binney et al. The theory of Critical Phenomena. Oxford. 1999.**
- E. Ott, Chaos and dynamical systems, Cambridge, 2012.
- **S.H. Strogatz, "Non-linear dynamics and Chaos", Addison Wisley 2012.**
- **A. Fuchs, "Nonlinear dynamics in complex systems", Springer 2013.**
- H. J. Jensen, "Self-Organized Criticality ", Cambridge Univ. Press 1998.
- K. Christensen and N.R. Moloney, "Complexity and Criticality", Imperial College, London 2005.
- R.J. Creswick et al., "Introduction to Renormalization Group Methods in Physics", Wiley, NY 1992.
- J. Marro and R. Dickman, "Nonequilibrium Phase Transitions in Lattice Systems". Cambridge 2005.
- **C.W. Gardiner, "Handbook of stochastic methods", Springer Verlag, 2000.**
- N.G. van Kampen, "Stochastic processes in Physics and Chemistry", Springer, 2004.
- M. Newman, "Networks: An introduction", Oxford 2011.
- A. Pikovsky et al. Synchronization: A universal concept in nonlinear sciences. Cambridge 2003.



· P. Krapivsky, S. Redner, E. Ben-Naim, "A kinetic view of Statistical Physics", Cambridge 2010.

#### ENLACES RECOMENDADOS

onsager.ugr.es/mamunoz, <https://ergodic.ugr.es/fe/>

#### METODOLOGÍA DOCENTE

**Clases de teoría:** Sesiones para todo el grupo de alumnos en las que el profesor explicará los contenidos teóricos fundamentales y su importancia en el contexto de la materia.

**Prácticas y problemas:** Sesiones para todo el grupo de alumnos en las que éstos trabajarán individualmente o por parejas, en los proyectos relacionados bajo la supervisión del profesor. Los alumnos resolverán de manera autónoma problemas de entre los propuestos durante las clases sobre los contenidos teóricos. Eventualmente, estos problemas serán resueltos en clase.

**Proyectos:** Cada alumno deberá abordar en parejas los proyectos propuestos en sincronía con el temario, para lo cual deberá aplicar los conceptos y técnicas expuestos en las clases de manera creativa, todo ello constantemente tutelado por el profesor.

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

El alumno ha de acreditar conocimiento uniforme de toda la materia, como se adquiere participando activamente en clase, de modo que la asistencia continuada y la realización de problemas es parte esencial de la evaluación, y ha de profundizar en uno de los temas característicos de la asignatura, lo que puede conseguir haciendo un trabajo personal tutelado. Hay evaluación a lo largo del curso y, al finalizar éste, mediante las exposiciones orales y/o escritas que se determinen entre alumnos y profesor. Valoración: Trabajo de investigación: 2/3 de la nota final: problemas entregados, ejercicios y trabajo continuado 1/3 de la valoración final. El trabajo personal tutelado puede cambiarse, de acuerdo con el profesor, por un examen final que se valorará del mismo modo.

**Evaluación única y extraordinaria:** Para quienes se acojan a la evaluación única final o a la extraordinaria, éstas contendrán las pruebas que el profesor estime oportunas (preferiblemente examen o examen oral) con objeto de acreditar que el estudiante ha adquirido la totalidad de las competencias generales y específicas, pudiendo el alumno alcanzar la calificación máxima.

#### 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"

Elaboración de un estudio práctico teórico y/o computacional. Examen del compendio de la asignatura.

INFORMACIÓN ADICIONAL: Consultar con los profesores para más detalles sobre la asignatura.

