



# Grado en Física (curso 2025-26)

<b>Fenómenos de Transporte</b>	<b>Código</b>	800547	<b>Curso</b>	4º	<b>Sem.</b>	1º
<b>Módulo</b>	Física Aplicada	<b>Materia</b>	Electrónica y Procesos Físicos	<b>Tipo</b>	optativo	

	Total	Teóricos	Práct./Semin.	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	3.5	2.5	
<b>Horas presenciales</b>	45	26	7	12

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocer los fundamentos físicos de la transferencia de energía, materia y carga eléctrica.</li> <li>• Saber desarrollar las ecuaciones de control que rigen los diferentes mecanismos de transporte.</li> </ul>
Breve descripción de contenidos
Transferencia de calor, momento, materia y carga eléctrica.
Conocimientos previos necesarios
Es recomendable poseer un buen nivel de programación en Python. Los conocimientos de la asignatura Física Computacional también pueden resultar muy útiles.

<b>Profesor/a coordinador/a:</b>	Francisco J. Cao García		<b>Dpto.</b>	EMFTEL
	<b>Despacho</b>	03.260.0	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:francao@fis.ucm.es">francao@fis.ucm.es</a>

Teoría/Prácticas - Detalle de horarios y profesorado								
Grupo	Aula	Día	Horario	Profesor	Fechas	horas	T/P	Dpto.
A	Aula Informática 15 (Aula informática 1, en casos puntuales)	X, V	10:30-12:00	Francisco J. Cao García	Todo el cuatrimestre	33	T/P	EMFTEL

T:teoría, P:prácticas

Laboratorios - Detalle de horarios y profesorado						
Grupo	Lugar	sesiones		Profesor	horas	Dpto.
L1	15	Octubre a diciembre 2024 (V 10:30- 12:00)		Francisco Javier Cao García	12	EMFTEL

Tutorías				
Grupo	Profesor	horarios	e-mail	Lugar
A	Francisco J. Cao García	M y J: 11:00-12:30 Contactar por correo	<a href="mailto:francao@fis.ucm.es">francao@fis.ucm.es</a>	03.260.0

Programa de la asignatura
<p><b>TEORÍA</b></p> <p>1. Introducción a los fenómenos de transporte</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Fundamentos. Ecuación general de conservación y transporte. Niveles de descripción de los fenómenos de transporte: fenomenológico, cinético y microscópico.</li> <li>● Termodinámica del equilibrio y del no equilibrio. Procesos irreversibles. Leyes fenomenológicas (Newton, Fick, Fourier, Ohm) y coeficiente de transporte (coeficiente de viscosidad, difusión, conductividad térmica y eléctrica). Transporte a través de membranas. Osmosis directa e inversa.</li> <li>● Aplicaciones biológicas: Transporte activo y pasivo. Motores moleculares. Potencial de membrana. Transmisión del impulso nervioso.</li> </ul> <p>2. Transporte en fluidos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Caracterización del transporte en fluidos: descripción del fluido y su movimiento, propiedades de los fluidos, y clasificación de flujos. Volumen y superficie de control. Aplicación de las ecuaciones generales de transporte a los fluidos. Metodologías de análisis del transporte en fluidos. Volumen y superficie de control. Teorema del Transporte de Reynolds. Formulación de las ecuaciones de mecánica de fluidos. Formulación integral y diferencial. Aplicaciones a casos prácticos</li> </ul> <p>3. Teoría cinética:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Gas ideal. Distribución de Maxwell-Boltzmann. Recorrido libre medio. Coeficientes de transporte. Teoría cinética. Ecuación de Liouville. Ecuación de Boltzmann.</li> <li>● Movimiento browniano. Ecuación de Langevin. Subdifusión y superdifusión. Funciones de correlación y coeficientes de transporte. Ecuación de Fokker-Planck. Aplicaciones.</li> <li>● Procesos de transporte de carga: Conductores de 1ª especie (ecuación de Boltzmann). Interfase electrizada: transporte a través de la interfase. Potencial de interfase. Conductores de 2ª especie (ecuación de Butler-Volmer). Aplicaciones de las ecuaciones de transporte de carga a sistemas físicos: unión p-n, contacto metal-semiconductor, emisión de electrones, otras aplicaciones</li> </ul> <p>4. Dinámica no lineal:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Puntos fijos y ciclos límites. Estabilidad y bifurcaciones. Caos. Ecuaciones de Lorenz. Predictibilidad. Mapas unidimensionales, fractales y atractores extraños.</li> </ul> <p>5. Dinámica con ruido:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Fluctuaciones. Sistemas extendidos (caos extendido, formación de patrones...). Materia activa.</li> </ul> <p>6. Transporte en redes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Redes complejas. Topología, dinámica y sincronización. Aprendizaje automático. Redes neuronales.</li> </ul> <p><b>PRÁCTICAS DE LABORATORIO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Movimiento browniano.</li> <li>● Aprendizaje automático: Modelos Ocultos de Markov.</li> </ul>

Bibliografía
<p>Básica</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● R. S. Brodkey y H. C. Hershey, Transport phenomena: an unified approach, Mc Graw-Hill International (1988) o Brodkey Publishing (2003)</li> </ul>

- Fenómenos de transporte. B.R. Bird y W.E. Steward. Lightfoot and Lightfoot, Erwin N.. Ed. Reverté. 2005
- J. Bertrán y J. Núñez (coords.), Química Física II, Ariel Ciencia (2002)
- D. McQuarrie. Statistical Mechanics. Harper Collins, New York, (1976)

Aplicaciones biológicas

- Jackson, M.B. Molecular and cellular biophysics. Cambridge University Press, Cambridge (2006).
- Phillips, R., et al., Physical Biology of the Cell (2nd ed.). Garland Science (2013).
- Gotelli, N. J. A primer of ecology (3rd ed.). Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates (2001).

Dinámica no lineal

- S. Strogatz. Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry and Engineering. Westview Press, (2000)

Dinámica con ruido

- Gardiner, C. Stochastic Methods: A Handbook for the Natural and Social Sciences. 4th Edition, Springer, New York (2009).

Redes complejas

- Wang, X. F. Complex networks: Topology, dynamics and synchronization. International Journal of Bifurcation and Chaos in Applied Sciences and Engineering, 12(5), 885–916. (2002). <https://doi.org/10.1142/S0218127402004802>

Recursos en Internet
<p>Existen abundantes recursos en internet sobre los contenidos de la asignatura.</p> <p>En el campus virtual incluiremos resúmenes, ejercicios, artículos y enlaces recomendados.</p>

Metodología
<p>Se desarrollarán las siguientes actividades formativas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lecciones de teoría donde se explicarán los principales conceptos de la materia, incluyéndose ejemplos, aplicaciones y ejercicios (incluyen programación) (2 horas semanales en media)</li> <li>• Prácticas de laboratorio (incluyen programación) (1 hora semanal en media)</li> </ul> <p>En las lecciones de teoría se utilizará la pizarra o proyecciones con ordenador.</p> <p>Para las lecciones teóricas se facilitarán lecturas recomendadas a realizar por el alumno previamente a ver el tema en clase, y enunciados de ejercicios a realizar por el alumno. Las lecturas previas recomendadas para las lecciones teóricas y los enunciados de los ejercicios se facilitarán a los alumnos con antelación suficiente en el Campus Virtual.</p> <p><b>Los ejercicios de clase y las prácticas de laboratorio incluyen tareas de programación por lo que es recomendable poseer un buen nivel de programación en Python. Los conocimientos de la asignatura Física Computacional también pueden resultar útiles.</b></p>

Evaluación		
<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	<b>60%</b>
Se harán dos exámenes escritos en clase: Ec1, Ec2.		

<p>La nota de exámenes de clase será <math>E_c = 0.5*E_{c1}+0.5*E_{c2}</math>                  Luego habrá un examen final <math>E_x</math> (opcional para quienes hayan aprobado <math>E_c</math>)                  La nota final de exámenes será <math>E_f = \max(E_c, E_x)</math></p>		
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	40%
<p>Actividades de clase voluntarias <math>A_c</math>                  Prácticas de laboratorio obligatorias <math>P_o</math>                  Se promedian con pesos <math>PA = ( 0.3*P_o + 0.1*A_c ) / 0.4</math>                  La nota final de prácticas es <math>P = \max( P_o, PA )</math></p>		
<b>Calificación final</b>		
<p>Si <math>E_f &lt; 5.0</math> (sobre 10) la calificación final es <math>C_f = E_f</math>.                  Si <math>E_f \geq 5.0</math> (sobre 10) la calificación final es <math>C_f = 0.6*E_f + 0.4*P</math>, donde solo computa <math>P</math> si <math>P \geq 4</math> (sobre 10). Si <math>P \leq 4</math>, entonces <math>P</math> computa 0 y <math>C_f = 0.6*E_f</math>.</p>		