



# Grado en Física (curso 2024-25)

<b>Termodinámica del No-Equilibrio</b>		<b>Código</b>	800508	<b>Curso</b>	3º	<b>Sem.</b>	2º
<b>Módulo</b>	Física Fundamental	<b>Materia</b>	Obligatoria de Física Fundamental	<b>Tipo</b>	optativo		

	Total	Teóricos	Práct./Semin.
<b>Créditos ECTS</b>	6	4	2
<b>Horas presenciales</b>	45	30	15

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Conocer el formalismo termodinámico aplicable a sistemas fuera del equilibrio.</li> <li>● Ser capaz de aplicar la termodinámica del no equilibrio al estudio de procesos en diferentes sistemas físicos.</li> <li>● Ser capaz de comprender el comportamiento de sistemas muy alejados del equilibrio.</li> <li>● Conocer las limitaciones de la termodinámica en tiempo infinito.</li> </ul>
Breve descripción de contenidos
Leyes de conservación. Ecuaciones de balance. Ecuaciones fenomenológicas. Relaciones de Onsager. Estados estacionarios. Producción mínima de entropía. Aplicaciones: procesos en sistemas homogéneos, continuos y heterogéneos. Sistemas muy alejados del equilibrio. Termodinámica en tiempo finito.
Conocimientos previos necesarios
Termodinámica. Laboratorio de Física II (Termodinámica). Cálculo. Tensores.

<b>Profesor/a coordinador/a</b>	Vicenta María Barragán García		<b>Dpto.</b>	EMFTEL
	<b>Despacho</b>	01.113.0	<b>e-mail</b>	vmabarra@ucm.es

Teoría/Prácticas - Detalle de horarios y profesorado - 2024/25								
Grupo	Aula	Día	Horario	Profesor	Fechas	horas	T/P	Dpto.
A	2	M, J	9:00 – 10:30	Vicenta María Barragán García	Todo el cuatrimestre	45	T/P	EMFTEL
B (inglés)	7	Tu Th	17:00 – 18:30	Chantal Valeriani	Full term	30	T/E	EMFTEL
			16:30 – 18:00	Bohan Zhang		15	E	EMFTEL
C	2	X V	11:30 – 13:00 12:00 – 13:30	Juan Pedro García Villaluenga	Todo el cuatrimestre	45	T/P	EMFTEL
D	2	L X	17:00 – 18:30 16:30 – 18:00	Vicenta María Barragán García	Todo el cuatrimestre	15	T/P	EMFTEL
				Luis Dinis Vizcaíno		15		
				Juan Pedro García Villaluenga		15		

Tutorías				
Grupo	Profesor	horarios	e-mail	Lugar
A	Vicenta María Barragán García	M: 11:00-14:00 h (+3 horas online)	vmabarra@ucm.es	01.113.0
B	<b>ESTE GRUPO SE IMPARTE EN INGLÉS (ver ficha correspondiente)</b>			
C	Juan Pedro García Villaluenga	M y V 9:00-10:30 h (+3 h online)	<a href="mailto:jpgarcia@ucm.es">jpgarcia@ucm.es</a>	01.117.0
D	Vicenta María Barragán García	M 11:00-14:00 h (+3 horas online)	<a href="mailto:vmabarra@ucm.es">vmabarra@ucm.es</a>	01.113.0
	Luis Dinis Vizcaíno	L 14-15 h J 11-12 h V 10:30-11:30 h (+3 h online)	<a href="mailto:ldinis@ucm.es">ldinis@ucm.es</a>	03.215.0
	Juan Pedro García Villaluenga	M y V 9:00-10:30 h (+3 h online)	<a href="mailto:jpgarcia@ucm.es">jpgarcia@ucm.es</a>	01.117.0

Programa de la asignatura
<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Revisión de los fundamentos de la Termodinámica del equilibrio.</b> Principios de la Termodinámica. Ecuación fundamental de la Termodinámica. Potenciales termodinámicos. Equilibrio y estabilidad. Reacciones químicas.</li> <li><b>Descripción del formalismo termodinámico. Leyes de conservación y ecuaciones de balance.</b> Postulado de equilibrio local. Ecuaciones de evolución para la masa, energía, momento, carga y concentración. Formulación local del Segundo Principio de la Termodinámica. Flujo de entropía y producción de entropía.</li> <li><b>Termodinámica de los Procesos Irreversibles. Régimen lineal.</b> Ecuaciones y coeficientes fenomenológicos. Relaciones de reciprocidad de Onsager. Principio de Curie.</li> <li><b>Estados estacionarios</b> Producción de entropía. Teorema de mínima producción de entropía y sus limitaciones</li> <li><b>Procesos simples</b> Balance entrópico. Ecuaciones fenomenológicas y relaciones recíprocas de Onsager. Conducción térmica. Difusión simple. Conducción eléctrica. Reacciones químicas.</li> <li><b>Procesos acoplados</b> Balance entrópico. Ecuaciones fenomenológicas y relaciones recíprocas de Onsager. Termoelectricidad. Termodifusión. Reacciones químicas acopladas. Motores moleculares. Efectos electrocinéticos y procesos en membranas.</li> <li><b>Introducción a los sistemas muy alejados del equilibrio. Régimen no lineal.</b> Estabilidad en sistemas alejados del equilibrio. Bifurcaciones.</li> <li><b>Estructuras disipativas.</b></li> </ol>

Patrones termo-hidrodinámicos: convección de Rayleigh-Bénard, convección de Bénard-Marangoni, vórtices de Taylor. Sistemas químicos oscilantes: Brusselator, Belousov-Zhabotinsky. Patrones espacio-temporales: estructuras Turing, simetría quiral.

**9. Termodinámica en Tiempo Finito.**

Revisión del ciclo de Carnot. Sistemas endorreversibles.

**Bibliografía**

**Básica:**

- Kondepudi, D., Prigogine, I. *Modern Thermodynamics. From Heat Engines to Dissipative Structures*. (Wiley Interscience, London). 1998
- Prigogine, I. *Introducción a la Termodinámica de los Procesos Irreversibles*. (Selecciones Científicas, Madrid). 1974
- Lebon, G., Jou, D., Casas-Vázquez, J. *Understanding Non-Equilibrium Thermodynamics: Foundations, Applications, Frontiers*. (Springer-Verlag, Berlin). 2008
- R. Haase. *Thermodynamics of Irreversible Processes*, (Dover, London). 1990.
- García Villaluenga, J.P., Relaño Pérez, A. *Termodinámica en sistemas fuera del equilibrio*. (Ediciones Complutense, Madrid). 2018

**Complementaria:**

- De Groot, S.R., Mazur, P. *Non-Equilibrium Thermodynamics*. (Dover, London). 1984
- Demirel, Y. *Nonequilibrium Thermodynamics*. (Elsevier, Amsterdam). 2007
- Jou, D., Llebot, J.E. *Introducción a la Termodinámica de los Procesos Biológicos*. (Editorial Labor, Barcelona). 1989
- Glandsdorff, P., Prigogine, I. *Structure, Stability and Fluctuations*. (Wiley Interscience, London). 1971
- Nicolis, G., Prigogine, I. *Self-organization in nonequilibrium systems. From dissipative structures to order through fluctuations*. (Wiley Interscience, New York). 1977

**Recursos en internet**

En Campus virtual de la UCM: <https://www.ucm.es/campusvirtual>

**Metodología**

Se desarrollarán las siguientes actividades formativas:

- Lecciones de teoría donde se explicarán los principales conceptos de la materia.
- Clases prácticas de problemas y actividades dirigidas. Se suministrarán a los estudiantes series de enunciados de problemas con antelación a su resolución en clase.

**Evaluación**

Realización de exámenes	Peso:	70%
Se realizará un examen final consistente en cuestiones teórico-prácticas y problemas. Para la realización del examen se podrán consultar las notas de clase y libros de teoría, de libre elección por parte del alumno.		
Otras actividades de evaluación	Peso:	30%

Se podrán realizar las siguientes actividades de evaluación continua:

- Problemas y ejercicios entregados a lo largo del curso, de forma individual o en grupo.
- Pruebas online.

### **Calificación final**

La calificación final se obtendrá promediando la nota del examen final (al 70%) y la evaluación continua (al 30%), excepto:

- a) si la calificación del examen es superior a dicho promedio, en cuyo caso la calificación final será igual a la del examen;
- b) la calificación del examen es inferior a 4 puntos, en cuyo caso la calificación final será también igual a la del examen.

La calificación de la convocatoria extraordinaria de julio se obtendrá siguiendo exactamente el mismo procedimiento de evaluación.