Curso | 2026-2027

Guía Docente del Máster en Física Teórica



Facultad de Ciencias Físicas

Universidad Complutense de Madrid

Versión v1.0 – 01/07/2026

Aprobada por Junta de Facultad el 30 de junio de 2026

Tabla de contenido

1. Introducción 3
1.1. Estructura general 3
1.2. Materias 3
1.3. Asignaturas 3
1.4 Complementos de Formación 4
1.5 Competencias 5
2. Fichas de las asignaturas 8
Teorías Gauge de las Interacciones Fundamentales 8
Fenomenología del Modelo Estándar 11
Campos y Cuerdas 14
Física de Astropartículas 17
Física Experimental de Partículas y Cosmología 20
Complementos de Análisis Matemático en Física 25
Complementos de Geometría y Teoría de Grupos en Física 28
Modelos Integrables en Física 31
Fenómenos Colectivos en Teoría de Campos 35
Sistemas Complejos 38
Relatividad General 41
Física del Modelo Cosmológico Estándar 44
Información Cuántica y Computación Cuántica 48
Simulación Cuántica 52
Trabajo Fin de Máster 57
3. Tabla de horarios. 59
4. Calendario Académico 60
ANEXO. Enlaces de interés 61
Control de cambios 62

1. Introducción

1.1. Estructura general

El Máster en Física Teórica de la UCM tiene duración de un año y 60 créditos ECTS. Esta distribuido en 4 materias. El alumno deberá cursar 4 asignaturas obligatorias en el primer semestre, una por materia, y 4 optativas, en el segundo semestre, a elegir entre las que figuran en el Apartado 1.3 de esta Guía. Cada asignatura corresponde a 6 créditos ECTS. El Trabajo Fin de Máster es también obligatorio y corresponde a 12 créditos ECTS.

El Máster se basa en el crédito ECTS. Cada crédito ECTS se corresponde aproximadamente con 7.5 horas de lecciones y 20 horas de trabajo personal del alumno supervisado por el profesor. Debido a la necesidad de una constante interacción profesor-alumno, no se contempla la posibilidad de cursar el Máster sin acudir a las clases.

1.2. Materias

Las materias de las que se compone el Máster son:

- Interacciones Fundamentales
- Métodos Matemáticos y Estadísticos
- Cosmología y Relatividad General
- Información Cuántica

1.3. Asignaturas

En la tabla siguiente figuran las asignaturas por materia, los créditos y su carácter.

Materia	Asignatura	Carácter	Créditos
Interacciones Fundamentales	Teorías Gauge de las Interacciones Fundamentales	Obligatoria	6
	Fenomenología del Modelo Estándar	Optativa	6
	Campos y Cuerdas	Optativa	6
	Física de Astropartículas	Optativa	6
	Física Experimental de Partículas y Cosmología	Optativa	6
Métodos Matemáticos y Estadísticos	Complementos de Análisis Matemático en Física	Obligatoria	6
	Complementos de Geometría y Teoría de Grupos en Física	Optativa	6
	Modelos Integrables en Física	Optativa	6
	Fenómenos Colectivos en Teoría de Campos	Optativa	6
	Sistemas Complejos	Optativa	6
Cosmología y Relatividad General	Relatividad General	Obligatoria	6
	Física del Modelo	Optativa	6

	Cosmológico Estándar		
Información Cuántica	Información Cuántica y Computación Cuántica	Obligatoria	6
	Simulación Cuántica	Optativa	6
Trabajo fin de Máster		Obligatoria	12

1.4 Complementos de Formación

Con carácter excepcional, y sólo para aquellos alumnos que presenten alguna carencia específica en sus conocimientos de Física Teórica, se recomendará que cursen ciertos complementos formativos, según sugiera para cada alumno concreto la Comisión Coordinadora del Máster, a la vista de su historial académico. Dichos complementos formativos consistirán en asignaturas de tercer y cuarto curso del Grado en Física ofrecido por la Facultad de Físicas de la UCM. Para aquellos alumnos que hayan cursado grados de 240 créditos, el número de asignaturas recomendadas nunca será superior a cuatro. En concreto se podrá recomendar alguna de las siguientes asignaturas:

- Del tercer curso del Grado de Física de la UCM:
  - Mecánica Cuántica.
  - Geometría Diferencial y Cálculo Tensorial.
- Del cuarto curso del Grado de Física de la UCM:
  - Electrodinámica Clásica.
  - Cosmología.
  - Relatividad General y Gravitación.
  - Partículas Elementales.
  - Mecánica Teórica.
  - Campos Cuánticos.
  - Transiciones de Fase y Fenómenos Críticos.
  - Simetrías y Grupos en Física.

La elección concreta de las asignaturas que se sugerirá cursar a cada alumno deberá contar con el visto bueno de la Comisión Coordinadora del Máster, en función de los intereses científicos del alumno y la orientación (académica o de investigación) elegida. Los alumnos cursarán dichas asignaturas en las mismas condiciones que los alumnos de Grado, por lo que los contenidos, actividades formativas, sistemas de evaluación, etc. de estos complementos formativos serán los mismos que los de las correspondientes asignaturas de Grado. Si bien en términos generales será la Comisión Coordinadora del Máster la que sugiera los posibles complementos formativos en cada caso concreto, consideramos que los perfiles de ingreso esperados serán los siguientes:

a) Graduado o licenciado en Física con orientación de Física Aplicada: se recomendarán hasta cuatro de las siguientes asignaturas en función de los intereses del alumno: Campos Cuánticos, Geometría Diferencial y Cálculo Tensorial, Relatividad General y Gravitación, Simetrías y Grupos en Física, Partículas Elementales, Cosmología, Mecánica Teórica.

b) Graduados o licenciados en Matemáticas sin conocimientos en Mecánica Cuántica y Teorías de Campos: se recomendarán hasta cuatro de las siguientes asignaturas en función de los intereses del alumno: Mecánica Cuántica, Campos Cuánticos, Electrodinámica Clásica, Cosmología, Partículas Elementales, Transiciones de Fase y Fenómenos Críticos.

c) Ingenieros con conocimientos básicos de Física Teórica: se recomendarán hasta cuatro de las siguientes asignaturas en función de los intereses del alumno: Mecánica Cuántica, Campos Cuánticos, Cosmología, Partículas Elementales, Transiciones de Fase y Fenómenos Críticos, Simetrías y Grupos en Física, Relatividad General y Gravitación.

1.5 Competencias

El Máster está diseñado para proporcionar una base sólida para desarrollar estudios de doctorado en temas de investigación punteros, y dota al alumno de competencias en el uso de herramientas matemáticas y métodos avanzados de cálculo que son extremadamente útiles no solamente en Física Teórica sino en otros campos.

CB6 Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el 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.

CG1 Adquirir conocimientos avanzados y demostrar, en un contexto de investigación científica altamente especializada, una comprensión detallada y fundamentada de los aspectos teóricos y prácticos y de la metodología de trabajo en Física Teórica.

CG2 Saber aplicar e integrar sus conocimientos, la comprensión de estos, su fundamentación científica y sus capacidades de resolución de problemas y de modelización en entornos nuevos y definidos de forma imprecisa, incluyendo contextos de carácter multidisciplinar altamente especializados en Física Teórica.

CG3 Saber evaluar y seleccionar la teoría física adecuada y la metodología precisa de la Física Teórica para formular juicios a partir de información incompleta o limitada incluyendo, cuando sea preciso y pertinente, una reflexión sobre la responsabilidad social o ética ligada a la solución que se proponga en cada caso.

CG4 Conocer y utilizar herramientas informáticas relativas al ámbito de estudio.

CG5 Localizar y gestionar la información relevante a un problema físico.

CG6 Integrar herramientas teóricas, datos experimentales y técnicas de simulación numérica.

CG7 Ser capaces de predecir y controlar la evolución de situaciones complejas mediante el desarrollo de nuevas e innovadoras metodologías de trabajo adaptadas al ámbito científico/investigador de la Física Teórica, experimanetal o en general multidisciplinar.

CG8 Saber transmitir de un modo claro y sin ambigüedades a un público especializado o no,

resultados procedentes de la investigación científica y tecnológica o del ámbito de la innovación más avanzada, así como los fundamentos más relevantes sobre los que se sustentan.

CG9 Desarrollar la autonomía suficiente para participar en proyectos de investigación y colaboraciones científicas o tecnológicas dentro de la Física Teórica y la frontera experimental de la Física, en contextos interdisciplinares y, en su caso, con una alta componente de transferencia del conocimiento.

CG10 Localizar y analizar la bibliografía científica y especializada pertinente con el objeto de elaborar trabajos de investigación y desarrollar proyectos técnicos.

CG11 Ser capaz de organizar, comunicar y transmitir conocimientos de forma clara a la sociedad, tanto en ámbitos docentes como no docentes. Ilustrar y expresar la ciencia y sus aplicaciones, como parte fundamental de la cultura, integrando su vertiente ética.

CT1 Desarrollar un pensamiento y un razonamiento crítico, la capacidad de análisis y de síntesis y el pensamiento científico y sistémico.

CT2 Trabajar de forma autónoma y saber desarrollar estrategias de aprendizaje autónomo.

CT3 Gestionar el tiempo y los recursos disponibles. Trabajar de forma organizada.

CT4 Capacidad para prevenir y solucionar problemas, adaptándose a situaciones imprevistas y tomando decisiones propias.

CT5 Capacidad para trabajar en entornos complejos o inciertos y con recursos limitados.

CT6 Evaluar de forma crítica el trabajo realizado.

CT7 Capacidad para trabajar cooperativamente asumiendo y respetando el rol de los diversos miembros del equipo, así como los distintos niveles de dependencia del mismo.

CT8 Adaptarse a entornos multidisciplinares e internacionales.

CT9 Comunicar eficientemente de forma oral y/o escrita conocimientos, resultados y habilidades, tanto en entornos profesionales como ante públicos no expertos.

CT10 Hacer un uso eficiente de las TIC en la comunicación y transmisión de ideas y resultados.

CE1 Conocer y comprender los elementos más relevantes de la Física Teórica actual. Profundizar en la comprensión de las teorías que se encuentran en la frontera de la Física, incluyendo su estructura matemática, su contrastación con resultados experimentales, y la descripción de los fenómenos físicos que dichas teorías explican.

CE2 Adquirir la capacidad de resolver problemas físicos avanzados, usando métodos tanto analíticos como numéricos. Comprender y dominar el uso de los métodos matemáticos utilizados en la Física Teórica. Desarrollar la capacidad de cálculo matemático avanzado.

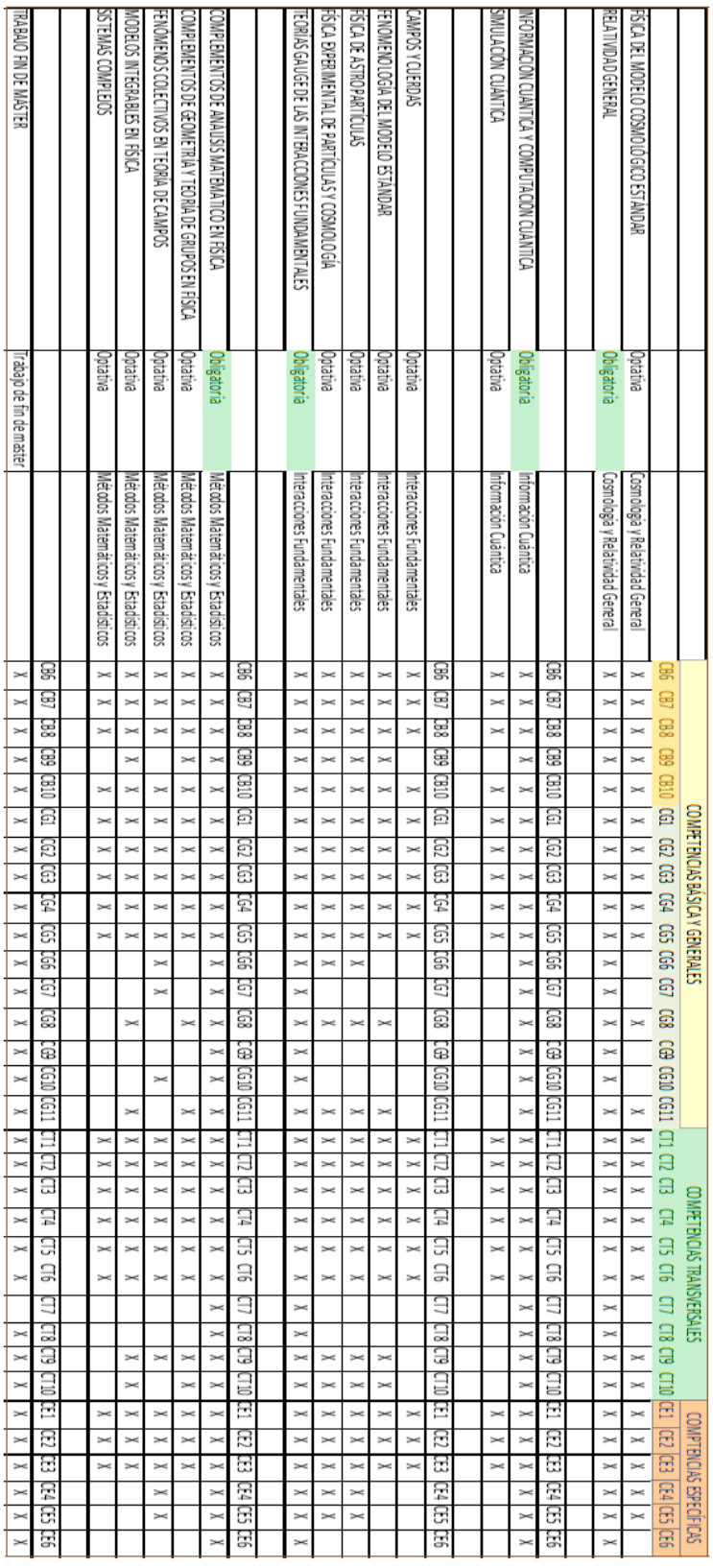
CE3 Modelizar sistemas de alto grado de complejidad. Identificar variables y parámetros relevantes y realizar aproximaciones que simplifiquen el problema. Construir modelos físicos que describan y expliquen situaciones en ámbitos diversos.

CE4 Ser capaz de aplicar las herramientas informáticas adecuadas a la resolución de problemas propios de la Física Teórica. Utilizar y desarrollar sistemas de computación y programas para procesar la información, hacer simulaciones numéricas, análisis estadístico, presentar resultados, etc.

CE5 Evaluar los datos procedentes de experimentos en Física Fundamental, analizar sus resultados

y compararlos con las previsiones de los modelos teóricos.

CE6 Elaborar proyectos innovadores de desarrollo tecnológico y/o de investigación. Ser capaz de diseñar, ejecutar y presentar públicamente el Trabajo de Fin de Master y de Introducción a la Investigación en temas situados en la frontera de la Física Teórica.



				COMPETENCIAS BÁSICA Y GENERALES																COMPETENCIAS TRANSVERSALES										COMPETENCIAS ESPECÍFICAS					
				CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5	CG6	CG7	CG8	CG9	CG10	CG11	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	CT9	CT10	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6
FÍSICA DEL MODELO COSMOLÓGICO ESTÁNDAR	Optativa	Cosmología y Relatividad General		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
RELATIVIDAD GENERAL	Obligatoria	Cosmología y Relatividad General		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
				CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5	CG6	CG7	CG8	CG9	CG10	CG11	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	CT9	CT10	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6
INFORMACIÓN CUÁNTICA Y COMPUTACIÓN CUÁNTICA	Obligatoria	Información Cuántica		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SIMULACIÓN CUÁNTICA	Optativa	Información Cuántica		X	X	X		X	X	X	X	X	X							X	X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X	
				CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5	CG6	CG7	CG8	CG9	CG10	CG11	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	CT9	CT10	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6
CAMPOS Y CUERDAS	Optativa	Interacciones Fundamentales		X	X	X		X	X	X	X	X	X							X	X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X	
FENOMENOLOGÍA DEL MODELO ESTÁNDAR	Optativa	Interacciones Fundamentales		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X				X	X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X	
FÍSICA DE ASTROPARTÍCULAS	Optativa	Interacciones Fundamentales		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X	
FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS Y COSMOLOGÍA	Optativa	Interacciones Fundamentales		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X					X	X	X	X	X		
TEORÍAS GAUGE DE LAS INTERACCIONES FUNDAMENTALES	Obligatoria	Interacciones Fundamentales		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
				CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5	CG6	CG7	CG8	CG9	CG10	CG11	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	CT9	CT10	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6
COMPLEMENTOS DE ANÁLISIS MATEMÁTICO EN FÍSICA	Obligatoria	Métodos Matemáticos y Estadísticos		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
COMPLEMENTOS DE GEOMETRÍA Y TEORÍA DE GRUPOS EN FÍSICA	Optativa	Métodos Matemáticos y Estadísticos		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
FENÓMENOS COLECTIVOS EN TEORÍA DE CAMPOS	Optativa	Métodos Matemáticos y Estadísticos		X	X	X			X	X	X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
MODELOS INTEGRABLES EN FÍSICA	Optativa	Métodos Matemáticos y Estadísticos		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SISTEMAS COMPLEJOS	Optativa	Métodos Matemáticos y Estadísticos		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
TRABAJO FIN DE MÁSTER	Trabajo de fin de master			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

2. Fichas de las asignaturas

MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA
(curso 2026-2027)

Ficha de la asignatura:	**Teorías Gauge de las Interacciones Fundamentales**			**Código**	606794
Materia:	Interacciones fundamentales	**Módulo:**	Temas de Física Teórica		
Carácter:	Obligatorio	**Curso:**	1º	**Semestre:**	1º

	Total	**Teóricos Seminarios**	**Práct**	**Lab.**
Créditos ECTS:	6	4.2	1.8	
Horas presenciales	45	30	15	0

Profesor/a Coordinador/a:	Ignazio Scimemi		**Dpto:**	FT
	Despacho:	Despacho 02.310.0 (2ª planta) Depto. FT	**e-mail**	ignazios@ucm.es

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	**Día**	**Horario**	**Profesor**	**Periodo/Fechas**	**Horas**	**Dpto.**
14	M V	10:00-11:30	Ignazio Scimemi	Todo el curso	45	FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	**Horarios**	**e-mail**	**Lugar**
Ignazio Scimemi	M,J: 10:30 a 12:00 y 3 horas on-line	ignazios@ucm.es	Despacho 02.310.0

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

- Entender la formulación Lagrangiana de las Teorías Gauge abelianas y no abelianas.
- Aplicar la integral de camino y la cuantización de Teorías Gauge y entender las Anomalías.
- Entender y aplicar la renormalización y la evolución de las constantes de acoplo.
- Entender el concepto e implemetación de la ruptura espontánea de simetría.
- Conocer la formulación Lagrangiana de las interacciones fuerte y electrodébil.

Competencias
CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG6, CG7, CG8, CG9, CG10, CG11, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT7, CT8, CT9, CT10, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6.

Resumen
Simetrías gauge abelianas y no abelianas, lagrangianos invariantes gauge. Cuantización por integral de camino, método de Fadeev-Popov. Evolución de las constantes con la escala y grupo de renormalización. Realización de integrales de camino. Teoría cuántica de campos. Teorías gauge y su cuantización.

Conocimientos previos necesarios
Mecánica Cuántica, Teoría Cuántica de Campos, Partículas Elementales

Programa de la asignatura

1. *INTRODUCCIÓN*
Matriz S, secciones eficaces y anchuras de desintegración. Fórmula de Reducción.
Teoría de perturbaciones y diagramas de Feynman. Campos fermiónicos.

2. *EL MODELO ESTANDAR: ESTRUCTURA BÁSICA*
Teorías con ruptura espontánea de simetría. Teorema de Goldstone. Mecanismo de Higgs.
Estructura básica del modelo estándar (campos de materia y de gauge, simetrias)

3. INTEGRAL SOBRE CAMINOS
Integral de Camino en Mecánica Cuántica y en Teoría Cuántica de Campos.

4. TEORÍAS GAUGE
Teorías gauge: cuantización e integrales de camínos. Método de Fadeev-Popov.

5. RENORMALIZACIÓN
Divergencias. Regularización. Renormalización. Grupo de Renormalización

6. EL MODELO ESTÁNDAR Y LA RENORMALIZACIÓN
Cromodinámica Cuántica. Renormalización y estructuras fundamentales.

Bibliografía

- G. Sterman*, An Introduction to Quantum Field Theory*. Cambridge University Press. 1993
- M.E. Peskin, D.V. Schroeder, *An Introduction to Quantum Field Theory.*Addison Wesley 1995.
- P. Pascual, R.Tarrach , *QCD: Renormalization for the practitioner*. Lecture Notes in Physics. Springer 2014.
- L.H. Ryder, *Quantum Field Theory*. Cambridge University Press 1996. Segunda edición.
- L. Álvarez-Gaumé, M. A. Vázquez-Mozo: *An Invitation to Quantum Field Theory* Springer Verlag. 2012.
- T. P. Cheng, L.F. Li. *Gauge Theory of Elementary Particle Physics*, Clarendon Press (Oxford) 1984.

- S. Pokorski, *Gauge Field Theories*, Cambridge University Press 1987.
- D. Bailin, A. Love*, Introduction to Gauge Field Theory.* Cambridge University Press, 1987.
- F. J. Ynduráin, *Relativistic Quantum Mechanics and Introduction to Field Theory*, Springer Verlag 1996.
- F. J. Ynduráin, *The Theory of quark and gluon interactions*, Springer-Verlag 1999.
- S. Weinberg, *The Quantum Theory of Fields*, vols.I, II. Cambridge University Press 1994, 1995
- P. Ramond, *Field Theory: A modern Primer*. Addison-Wesley Reading. 1990
- A. Zee. *Quantum Field Theory in a Nutshell*. Princeton University Press. 2010.
- M.D. Schwartz, *Quantum Field Theory and the Standard Model*, Cambridge University Press 2014.

Recursos en internet

Campus virtual. Incluyendo las notas del profesor I. Scimemi a disposición del alumno.

Notas/videos de clases de otros institutos de prestigio, por ejemplo:

https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-324-relativistic-quantum-field-theory-ii-fall-2010/

Metodología

Se impartirán clases, en la pizarra, en las que se explicarán y discutirán los diversos temas del programa. Los conceptos y técnicas introducidos en la explicación de los temas se ilustrarán con ejemplos y problemas que se resolverán en clase. Se estimulará la discusión, individual y en grupo, con los alumnos de todos los conceptos y técnicas introducidos en clase.

Evaluación

Realización de exámenes	**Peso:**	60 %
Se realizará un examen (EX) a final de curso sobre el temario explicado en clase		
Otras actividades de evaluación	**Peso:**	40 %
Se evaluarán problemas y ejercicios propuestos en clase y entregados por el alumno (PR).		

Calificación final

La calificación final será:

Nota= 0.6 EX + 0.4 PR.

Siendo EX la nota de examen (sobre 10) y PR la nota de otras actividades (sobre 10). Se considerará que se han adquirido las competencias teóricas de la asignatura si se obtiene EX >=4.0. En caso de no obtenerse esta calificación mínima, se calificará esta parte como EX = 0.0.

MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2026-2027)

Ficha de la asignatura:	**Fenomenología del Modelo Estándar**			**Código**	606795
Materia:	Interacciones Fundamentales	**Módulo:**	Temas de Física Teórica		
Carácter:	Optativo	**Curso:**	1	**Semestre:**	2

	Total	**Teóricos Seminarios**	**Práct**	**Lab.**
Créditos ECTS:	6	4.2	1.8	
Horas presenciales	45	30	15	

Coordinador:	Juan José Sanz Cillero		**Dpto:**	FT
	Despacho:	Despacho 02.327.0, (Planta 2, Ala Oeste. Depto. FT)	**e-mail**	jjsanzcillero@ucm.es

Teoría/Prácticas - Detalle de horarios y profesorado

Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.
12	L V	13:00-14:30 9:30-11:00	Clara Peset Martín	A determinar	22.5	FT
			J.J. Sanz Cillero		22.5	FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado

Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Clara Peset Martín	L: 12:00-13:00, M: 12:00-14:00 y 3h online	cpeset@ucm.es	Despacho 02.314.0
Juan Jose Sanz Cillero	M, J: 14:00 - 16:00 X: 11:00 -13:00	jjsanzcillero@ucm.es	Despacho 02.327.0

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

- Conocer la formulación Lagrangiana de las interacciones fuerte y electrodébil
- Entender la fenomenología de las interacciones electrodébiles. Bosones electrodébiles y ruptura de simetría.
- Entender la fenomenología de la cromodinámica cuántica: quarks y hadrones
- Ser capaz de realizar cálculos que describan los ejemplos más relevantes en sistemas físicos de interés en fenomenología de partículas.

Competencias

CB6, CB7, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG5, CG8, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT9, CT10, CE1, CE2, CE3.

Resumen

- Conceptos básicos de Teorías de Campos para el Modelo Estándar.
- Teoría electrodébil y sus simetrías exactas y aproximadas. La ruptura espontánea de simetría electrodébil. Modelo de Glashow- Weinberg-Salam y el mecanismo de Higgs. Violación de CP. Oscilaciones de neutrinos.
- Interacciones fuertes. Modelo Quark. Color. Libertad asintótica. Cromodinámica Cuántica. Simetría Quiral y Física Hadrónica. Confinamiento.
- Los límites fenomenológicos del modelo estándar y búsqueda de alternativas.

Conocimientos previos necesarios

Mecánica Cuántica, Teoría Cuántica de Campos, Partículas Elementales

Programa de la asignatura

1.INTRODUCCIÓN

- Introducción y teorías cuánticas de campos como teorías efectivas.
- Repaso de Teoría de Perturbaciones, uso de Reglas de Feynman, Teorías gauge, matriz S y sus simetrías, secciones eficaces y desintegraciones. Procesos elementales en QED.

2. INTERACCIONES FUERTES

- QCD: renormalización y libertad asintótica. Violación de scaling y correcciones de QCD a procesos de interés.
- Estructura de hadrones en colisiones electrón-nucleón. Dispersión elástica. Dispersión inelástica. Modelo de partones.
- Modelo Quark. Clasificación de hadrones. El color.
- Ruptura espontánea de la Simetría Quiral. Teorías efectivas y física de hadrones.
- Otros temas: anomalías, diagrama de fases, confinamiento.

3. INTERACCIONES ELECTRODÉBILES

- Ruptura espontánea de Simetría. El modelo de Glashow-Weinberg-Salam. Bosones gauge masivos y ruptura espontánea de simetría. El mecanismo de Higgs. Física del bosón de Higgs. Correciones radiativas.
- Fermiones en el Modelo Estándar. Matriz CKM. Violación de CP. Masas y oscilaciones de neutrinos. Matriz PMNS.
- Teorías efectivas en el sector electrodébil.
- Anomalías gauge y su cancelación en el Modelo Estándar.

Bibliografía

1. F. Halzen, A.D. Martin, Quarks and Leptons, John Wileyand Sons 1984.

2. J.F. Donoghue, E. Golowich, B.R. Holstein, Dynamics of the Standard Model, Cambridge University Pres 1994.

3. G. Kane. Modern Elementary Particle Physics, Addison-Wesley 1987.

4 B.R. Martin, G. Shaw, Particle Physics, John Wiley & Sons, 1992.

5. A. Dobado, A. Gómez Nicola, A.L. Maroto, J.R. Peláez, Effective Lagrangians for the Standard Model, Springer Verlag 1997.

6. W. Greiner, A.Shafer. Quantum Chromodynamics, Springer-Verlag 1994.

7. Fayyazuddin & Riazuddin, A Modern Introduction to Particle Physics, World Scientific, 2000.

8. D. Griffiths, Introduction to Elementary Particles, John Wiley & Sons, 1987.

9. P. Pascual, R. Tarrach, QCD for practitioners, Springer-Verlag, 1984

10. S. Pokorski, Gauge Field Theories, Cambridge monographs, 2001

11. C. Burgess, G. Moore, Standard Model (A primer), Cambridge University Press; Reprint editio (2012)

12. R. K. Ellis, W.J. Stirling, B.R. Webber, QCD and Collider Physics, Cambridge Monographs, 2003

13. F. J. Yndurain. The Theory of Quark and Gluon Interactions. Texts and Monographs in Physics. Springer (1999)

14 D. Bailin and A. Love Introduction to Gauge Field Theory Revised Edition, Taylor and Francis group (1993)

Recursos en internet
PARTICLE DATA GROUP: http://pdg.lbl.gov/

Metodología
Se impartirán clases, en la pizarra, en las que se explicarán y discutirán los diversos temas del programa. Los conceptos y técnicas introducidos en la explicación de los temas se ilustrarán con ejemplos y problemas que se resolverán en clase. Se estimulará la discusión, individual y en grupo, con los alumnos de todos los conceptos y técnicas introducidos en clase.

Evaluación		
Examen	**Peso:**	30 %
Se realizará un examen (Ex) con preguntas tipo test o breves		
Evaluación continua	**Peso:**	70 %
De modo complementarios al examen se realizará una evaluación continua donde se podra plantear para su calificación (Co): - Tareas con problemas y ejercicios propuestos en clase y entregados por el o la estudiante. - Realización de pequeños ejercicios durante el horario de clase. - El desarrollo y presentación de temas especializados del curso en formato escrito o audiovisual.		

Calificación final
0.3 x Ex + 0.7 x Co

MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2026-2027)

Ficha de la asignatura:	**Campos y Cuerdas**			**Código**	606796
Materia:	Interacciones Fundamentales	**Módulo:**	Temas de Física Teórica		
Carácter:	Optativo	**Curso:**	1º	**Semestre:**	2º

	Total	**Teóricos Seminarios**	**Práct**	**Lab.**
Créditos ECTS:	6	4.2	1.8	
Horas presenciales	45	30	15	

Profesor/a Coordinador/a:	Carmelo Perez Martín		**Dpto:**	FT
	Despacho:	03.316.0 (3ªO)	**e-mail**	carmelop@fis.ucm.es

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	**Día**	**Horario**	**Profesor**	**Periodo/Fechas**	**Horas**	**Dpto.**
12	M X	11:30-13:00 10:30-12:00	Carmelo Perez Martín	Todo el curso	45	FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	**horarios**	**e-mail**	**Lugar**
Carmelo Perez Martín	L, X: 15:00-18:00	carmelop@fis.ucm.es	Despacho 03.316.0

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

- Entender la invariancia gauge y sus implicaciones sobre grados de libertad físicos y cuantización.
- Comprender la formulación de una cuerda en un espacio-tiempo como una teoría de campos en dos dimensiones y sus simetrías. Comprender las herramientas básicas para su cuantización.

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CE1, CE2, CE3.

Resumen

Parte I: La formulación mediante la integral de camino de teorías gauge cuánticas. El método BRS como mecanismo para controlar la invariancia gauge.

Parte II: La cuerda clásica, sus simetrías y grados de libertad físicos. Cuerdas en espacios-tiempo no planos. Cuantización en espacios-tiempo de Minkowski.

Conocimientos previos necesarios

Los propios de la especialidad de Física fundamental (en algunas universidades llamada de Física Teórica) de la Licenciatura en Física o del Grado en Física. De manera específica, se necesitas conocimientos de de Mecánica cuántica, Campos cuánticos, Partículas elementales y una base matemática en Cálculo, Álgebra y Geometría diferencial.

Programa de la asignatura

I**. Cuantización de campos gauge.**

Tema 1. Aspectos clásicos de los campos gauge.
El campo gauge, el tensor de fuerza y su interpretación geométrica como conexión y curvatura. Ecuaciones de movimiento. Breve discusión de sus soluciones.

Tema 2. Invariancia BRS y acción efectiva.
El operador BRS y su cohomlogía. La acción efectiva como generador de funciones de Green irreducibles y sus identidades. Renormalización y estructura de los contra-términos. Anomalías. Cálculo de la función beta a un loop.

Tema 3. Cuantización BRST de Gravedad.
Cuantización BRST de gravedad mediante el método del campo de fondo. Definición de la acción efectiva mediante el método del núcleo del calor. Finitud UV a un loop de gravedad sin materia. Acoplo a materia y ruptura de finitud UV. El contratérmino de Goroff y Sagnotti.

II**. Introducción a las cuerdas.**

Tema 4. Cuerda clásica en espacio-tiempo de Minkowski.
Acciones de Nambu-Goto y Polyakov. Invariancia bajo reparametrizaciones e invariancia Weyl. Ecuaciones de movimiento y condiciones de contorno (distinción entre cuerda abierta y cerrada). Ligaduras de Virasoro. Desarrollos en modos de Fourier.

Tema 5. Cuerda clásica en un espacio-tiempo con curvatura.
Acción de Polyakov para una cuerda en un espacio-tiempo con métrica no plana, 2-forma de Kalb-Rammond y dilatón. Ecuaciones de movimiento y condiciones de contorno. D-branas.

Tema 6. Cuantización de la cuerda en espacio-tiempo de Minkowski.
Cuantización canónica e identificación de los grados de libertad físicos en el gauge del cono de luz. Invariancia Lorentz y D=26. Comparación con métodos de cuantización covariantes sin fantasma (old covariant approach). Anomalía de Virasoro.

Tema 7. Introducción a los modelos de Wess-Zumino-Witten.
Acción clásica y ecuaciones de campo. Corrientes quirales. Ejemplos.

Bibliografía

-C. Itzykson, J.-B. Zuber, Quantum Field Theory, Dover Publications Inc. (Mineola, NY 2006).
- M. E. Peskin, D. V. Schroeder, An Introduction to Quantum Field Theory, Westview Press (Boulder, Co 1995).
-M. B. Green, J. H. Schwarz, E. Witten, String theory, vol 1, Cambridge University Press (Cambridge 1987).
-J. Polschinski, String theory, vol 1, Cambridge University Press (Cambridge 2000).
-I. G. Avramidi, Heat Kernel and Quantum gravity, Lecture note in physics monographs, Vol 64, Springer (Berlin 2000).

Recursos en internet
Campus virtual, Google drive, Google meet

Metodología
Se impartirán clases, en la pizarra, en las que se explicarán y discutirán los diversos temas del programa. Los conceptos y técnicas introducidos en la explicación de los temas se ilustrarán con ejemplos y problemas que se resolverán en clase. Se estimulará la discusión individual y en grupo con los alumnos de todos los conceptos y técnicas.

Evaluación		
Realización de exámenes	**Peso:**	60 %
Un examen final consistente en problemas o/y cuestiones.		
Otras actividades de evaluación	**Peso:**	40%
Entrega de problemas propuestos.		
Calificación final		
La media ponderada entre la nota obtenida en el examen y la obtenida en las otras actividades.		

MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2026-2027)

Ficha de la asignatura:	**Física de Astropartículas**			**Código**	606797
Materia:	Interacciones fundamentales	**Módulo:**	Temas de Física Teórica		
Carácter:	Optativo	**Curso:**	1º	**Semestre:**	2º

	Total	**Teóricos Seminarios**	**Práct**	**Lab.**
Créditos ECTS:	6	4.5	1.5	
Horas presenciales	45	28	11	6

Profesor/a Coordinador/a:	Daniel Nieto Castaño		**Dpto:**	EMFTEL
	Despacho:	Despacho 03.228.0 (3ª planta)	**e-mail**	d.nieto@ucm.es

Teoría - Detalle de horarios y profesorado

Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
13	X V	12:00 – 13:30 11:00 – 12:30	Jose Miguel Más Hesse	Se alternarán a lo largo de semestre	1	EMFTEL
			Marcos López Moya		12	EMFTEL
			Daniel Nieto Castaño		15	EMFTEL

Prácticas de laboratorio - Detalle de horarios y profesorado

Grupo	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.
A	Laboratorio de Física Atómica	2 sesiones de 3 h cada una fuera del horario de la asignatura (por determinar)	Daniel Nieto Castaño	3	EMFTEL
			Marcos López Moya	3	

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado

Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Marcos López Moya	L, X: 14:00-17:00	marcos@gae.ucm.es	Despacho 03.220.0, 3ª planta Módulo Central
Daniel Nieto Castaño	M, J: 10:00-11:30 (resto online)	d.nieto@ucm.es	Despacho 03.228.0, 3ª planta Pasillo Norte
Jose Miguel Más Hesse	Concertar con el profesor	mm@cab.inta-csic.es	

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)
▪ Comprender la fenomenología del modelo estándar de las interacciones fundamentales y el modelo estándar cosmológico. ▪ Entender los principales aceleradores cósmicos y la propagación de partículas en el Universo. ▪ Comprender las técnicas de detección en Física de (Astro)Partículas. ▪ Utilizar las técnicas de análisis, representación e interpretación de datos en Física de (Astro)Partículas. ▪ Conocer los principales problemas abiertos en Física de (Astro)Partículas y los experimentos que existen para abordarlos. ▪ Conocer el estado del arte en observaciones de interés cosmológico y las técnicas asociadas de tratamiento de datos

Competencias
CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5,CG6, CG8, CG11, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT9, CT10, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5.

Resumen
Introducción a la Física de Astropartículas. Métodos de detección de rayos X, rayos gamma y partículas cósmicas de alta energía. Fuentes. Mecanismos de emisión y aceleración. Propagación. Perspectivas del campo.

Conocimientos previos necesarios
Los correspondientes a las asignaturas troncales hasta el tercer curso, así como a las asignaturas obligatorias de tercer y cuarto curso del grado en Física en la especialidad de Física Fundamental.

Programa de la asignatura
TEORÍA • Astrofísica de rayos X y Gamma Mecanismos de producción de rayos X y Gamma. Fuentes astrofísicas de altas energías, galácticas y extragalácticas. Técnicas de detección. Telescopios de rayos X. Detectores de rayos gamma en tierra y en satélites. • Física de Rayos Cósmicos Interacción de partículas cargadas con la materia. Detectores de rayos cósmicos en tierra y satélites. Mecanismos de producción y propagación de rayos cósmicos. • Otras partículas de alta energía Producción y detección de neutrinos de alta energía. Búsqueda de Materia Oscura con detectores de radiación de alta energía. PRÁCTICAS DE LABORATORIO Medida del flujo de muones cósmicos con centelleadores plásticos empleando el método de coincidencias. Medida de la vida media del muón a partir de la detección de muones cósmicos. Espectroscopía de rayos gamma con detectores de germanio y centelleadores PRÁCTICAS DE ORDENADOR Utilización de software científico para el análisis de los datos tomados por telescopios de altas energías. Cuatro sesiones en horario de clase.

VISITA A ESAC

Visita a las instalaciones de la European Space Astronomy Centre (ESAC), que la ESA opera en Villafranca del Castillo, para conocer las actividades de investigación en los telescopios de rayos X y rayos gamma operados por la ESA. Una sesión en horario de clase (fecha por determinar).

Bibliografía

Básica

- A. De Angelis, *Introduction to Particle and Astroparticle Physics*, Springer 2018
- M.S. Longair. *High Energy Astrophysics Vol 1 y 2*. Cambridge Univ. Press 1994
- Katz, J.I., *High Energy Astrophysics*, Addison-Wesley, 1987

Complementaria

- F. Aharonian. *Very High Energy Cosmic Gamma Radiation.* World Scientific 2004
- C. Grupen, G. Cowan, et al: *Astroparticle Physics.* Springer 2005
- D. Perkins, *Particle Astrophysics,* Oxford University Press, 2009
- T. Stanev, *High energy cosmic rays*, Springer, 2010

Recursos en internet

Campus virtual con enlaces de interés para la asignatura.

Metodología

Una parte fundamental de la asignatura vendrá en la forma de clases teóricas, con material de apoyo para los alumnos en el CV. Las clases se darán de manera habitual con el apoyo de medios audiovisuales modernos. Los conocimientos teóricos se complementan con la resolución de problemas.

Las prácticas de laboratorio tendrán lugar en el Laboratorio de Física Atómica, Nuclear y de Partículas, y las prácticas de ordenador se realizarán en el aula de Informática de la Facultad. En ambos tipos de prácticas, el alumno tendrá que entregar un informe con los resultados.

Por último, se realizará una visita a las instalaciones de la ESA en Villafranca del Castillo para conocer de cerca la actividad investigadora en Astrofísica de Rayos X y Rayos Gamma.

Evaluación

Realización de exámenes	Peso:	30 %

El examen (Ex) tendrá una parte de cuestiones teórico-prácticas y otra parte de problemas (de nivel similar a los resueltos en clase). Para ambas partes el alumno podrá contar con libros de teoría de libre elección así como el material a su disposición en el CV. Se exige una nota mínima de 3 puntos sobre 10 en el examen para aprobar la asignatura.

Otras actividades de evaluación	Peso:	70 %

Otras actividades de evaluación (OA):

- Presentación, oral y por escrito, de trabajos
- Realización de prácticas de laboratorio y ordenador
- Realización de prácticas de laboratorio y computación y entrega de memorias e informes

Calificación final

La calificación final será Cf = 0.3*Ex + 0.7*OA

MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2026-2027)

Ficha de la asignatura:	**Física Experimental de Partículas y Cosmología**			**Código**	606798
Materia:	Interacciones Fundamentales	**Módulo:**	Temas de Física Teórica		
Carácter:	Optativo	**Curso:**	1º	**Semestre:**	2º

	Total	**Teóricos Seminarios**	**Práct**	**Lab.**
Créditos ECTS:	6	4.5	1.5	
Horas presenciales	45	28	14	3

Profesor/a Coordinador/a:	Begoña de la Cruz Martínez		**Dpto:**	CIEMAT
	Despacho:		**e-mail**	Begona.delacruz@ciemat.es

Teoría - Detalle de horarios y profesorado

Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
12	L M	11:30-13:00 13:00-14:30	Begoña de la Cruz Javier Llorente Ignacio Sevilla Juan Pablo Fernández	A determinar	3 9 8 8	CIEMAT

Prácticas - Detalle de horarios y profesorado

Grupo	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.
A1	Aula CIEMAT	Práctica con Datos Práctica con Datos	Miguel Angel Velasco Alberto Escalante	7 7	CIEMAT

Laboratorios - Detalle de horarios y profesorado

Grupo	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.
A1	CIEMAT	Fotodetección	Jose Ignacio Crespo Clara Cuesta	3	CIEMAT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado

Profesor	Horarios	e-mail	Lugar
Todos	A convenir	aeciemaster@gmail.com	CIEMAT

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

- Comprender los resultados experimentales básicos en los que se basa el modelo estándar de las interacciones fundamentales y el modelo estándar cosmológico, a través de los datos de diversos experimentos punteros (LHC, DES, AMS,…) en laboratorios mundiales de referencia, y explicados por investigadores plenamente involucrados en ellos.
- Comprender las técnicas experimentales (detección, análisis de datos, interpretación de resultados) en Física de Partículas, Astropartículas y Cosmología.
- Conocer los principales problemas abiertos en Física de Partículas, Astropartículas y Cosmología y cómo se abordan en los experimentos actuales.
- Adquirir una metodología de trabajo necesaria para dedicarse a la investigación (realizar una tesis doctoral y posterior) en el ámbito mencionado.

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG6, CG8, CG11, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT9, CT10, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5.

Resumen

Fuentes de partículas (Aceleradores, fuentes de neutrinos, Cosmos). Detectores de Partículas. Técnicas de detección experimental en Física de Partículas y Cosmología, Técnicas de Análisis de Datos, Análisis Estadístico Datos, Interpretación de Resultados Físicos Experimentales. Paradigmas de Computación científica. SuperComputacion y Computacion de altas prestaciones.

Modelo Estándar de Partículas e Interacciones: Bosones electrodébiles (W,Z,fotón), Estudios de quarks (c,b,top), Estudio del bosón de Higgs.

Búsquedas de Nueva Física: nuevas resonancias, SUSY, Dimensiones Extra, partículas de vida media anormalmente altas, gravitón, otras componentes exóticas.

Astrofísica de partículas, en el espacio y terrestre. Rayos cósmicos cargados y gammas energéticos.

Estudios de Neutrinos: oscilaciones, masas. Neutrinos estériles.

Cosmología: Energía Oscura. Ondas Gravitacionales.

Conocimientos previos necesarios

Mecánica Cuántica, Teoría Cuántica de Campos, Partículas Elementales

Programa de la asignatura

1. Introducción a la Fisica Experimental de Partículas.

- Breve descripción Modelo Estándar e Interacciones. Problemas del ME (p. ej. oscilaciones de neutrinos).
- Como abordar estos problemas. Motivación de Experimentos a grandes rasgos (objetivos, requisitos, precisiones, resoluciones, diseño, datos….) Objetivos de los experimentos actuales como LHC (CMS), experimentos de Neutrinos, de Cosmología, de Astropartículas.

2. Técnicas Experimentales

- Breve repaso técnicas experimentales de detección partículas / observacionales.
- Fuentes de partículas: aceleradores, cosmos, fuentes de neutrinos.
- Técnicas instrumentales: Adquisición de datos (instrumentación electrónica), tratamiento de éstos (calibración, alineamiento).

- Paradigmas de Computación científica aplicado a Física de Partículas. Cantidades físicas medidas (posición, tiempo, energía, carga) y reconstrucción de magnitudes más elaboradas (momento, masas invariantes, etc).
- Funcionamiento y obtención datos y medidas de Tracker (TPC), detectores de Si, Calorimetros.
- Cámaras Deriva, RPCs, Detector Cerenkov, RICH,...
- Ejemplos transferencia de tecnología (aplicaciones física partículas a sociedad): PETs, aceleradores, Webs, GPS, materiales, laseres, superconductividad, vacío, criogenia…

3. Experimentos de Física de Partículas, Astropartículas y Cosmología
Estudios de Física en varios aspectos del ME, usando las técnicas aprendidas hasta el momento.

- Descripción de fenomenología en colisiones pp a $\sqrt{s}$ = 7, 8 TeV.
- Producción de bosones vectoriales de Interacción Débil (W, Z). Principales características y resultados.
- Estudios de producción de quarks, en general, jets y más en concreto producción de hadrones con quarks c y b y del quark top. Principales características y resultados.
- Estudio del Bosón de Higgs.
- Búsquedas de nueva física: SUSY, dimensiones extra, nuevas resonancias, otros "exotismos".
- Física de neutrinos: situación actual, cuestiones sin resolver, resultados experimentales.
- Astrofísica de Partículas. Técnicas experimentales de detección en el espacio y terrestre.
- Cosmología y estudio de Energía Oscura: situación actual, cuestiones sin resolver, resultados experimentales.
- Ondas gravitacionales.

Prácticas: Fechas a determinar más adelante

- Sesión análisis de datos reales de experimento CMS, de colisiones pp a $\sqrt{s}$ = 8 TeV, estudio de bosones Z, W, Higgs.
- Detección de muones cósmicos con detectores mediante cámara de deriva/niebla.
- Fotodetección a temperatura ambiente y criogénica
- Cada práctica (3) lleva asociada la entrega de un informe por parte del alumno.

Bibliografía

Básica:

- "Física Nuclear y de Partículas"
  Antonio Ferrer Soria
  Ed. UNIVERSITAT DE VALENCIA. SERVEI DE PUBLICACIONS 2007
  ISBN 9788437065687

- "Quarks & Leptons: An introductory course in Modern Particle Physics"
  F. Halzen, A. D: Martin
  Ed. Wiley
  ISBN-10: 0471887412, ISBN-13: 9780471887416

- "Particle Detectors"
  C. Gruppen
  Ed. Cambridge University Press
  ISBN: 0521552168

- "Neutrino Physics",
  K. Zuber
  Series in High Energy Physics, Cosmology and Gravitation, CRC Press, 2010

- "Probes of Multimessenger Astrophysics"
  M. Spurio
  Springer (2018) ISBN 978-3-319-96854-4

- "Multiple Messengers and Challenges in Astroparticle Physics"
  R. Aloisio, E. Coccia, F. Vissani
  Springer (2018) ISBN 978-3-319-65423-2

- "Extragalactic Astronomy and Cosmology"
  P.Schneider (2006)
  Ed. Springer

- "STATISTICAL METHODS in EXPERIMENTAL PHYSICS"
  W.T. Eadie. D. Drijard. F.E. JAMES. B. Sadoulet, M. ROSS
  Ed. North-Holland, Amsterdam, 1971.

- The HEP Software Foundation, J. Albrecht, A.A. Alves et al. A Roadmap for HEP Software and Computing R&D for the 2020s. Comput Softw Big Sci 3, 7, Springer, 2019, https://doi.org/10.1007/s41781-018-0018-8

Complementaria

- "Perspectives on LHC Physics"
  Varios autores. Editores :G. Kane & A. Pierce
  Ed. World Scientific, ISBN: 9812779752

- "The Higgs hunter's guide"
  J.F. Gunion, H.E. Haber, G. Kane & S. Dawson
  Ed. Perseus Publishing, Cambridge, Massachusetts, ISBN: 073820305X

- "Phenomenology with massive neutrinos"
  M. C. Gonzalez-Garcia & M. Maltoni, arXiv:0704.1800

- "Statistical Data Analysis", G. Cowan
  Ed. Oxford Science Publications, ISBN: 0198501552

- "Gauge Theories in Particle Physics"
  I.J.R. Aitchison & A.J.G. Hey
  Ed. Adam Hilger, ISBN: 0852743289

- "The Physics of Particle Detectors", D. Green
  Ed. Cambridge University Press, ISBN: 0521662265

- "Statistics: A guide to the use of statistical methods in the phsical sciences"
  R.J. Barlow
  Ed. John Wiley & Sons, ISBN: 0471922951

- "Introduction to Elementary Particles", D. Griffiths
  Ed. Wiley-VCH, ISBN: 9783527406012

- "Modern Cosmology", S.Dodelson (2003)
  Ed. Elsevier

- "Fundamentals of Neutrino Physics and Astrophysics"
  C. Giunti & C. W. Kim, Ed. Oxford University Press, 2007

- "Neutrino cosmology",
  J. Lesgourgues, G. Mangano, G. Miele & S. Pastor
  Ed. Cambridge University Press, 2013.

- "Introduction to High Energy Physics"
  D.H. Perkins
  Ed. Cambridge University Press.

Recursos en internet

Transparencias / prácticas en página web. Enlaces de interés para la asignatura.

Páginas web de los diversos experimentos/laboratorios.

Metodología

Sesiones teóricas con medios audiovisuales (proyección transparencias).

Sesiones prácticas (análisis de sucesos experimentales reales).

Sesiones prácticas de laboratorio en el CIEMAT (Avda. Complutense 40, a 10 min de Facultad CC. Físicas)

Presentaciones de trabajos/prácticas realizados por alumnos.

Evaluación

Realización de exámenes	**Peso:**	60 %

Se realizará un cuestionario (CU) o examen con preguntas teórico-prácticas que demuestren la comprensión de los conceptos explicados en clase.

Alternativamente (a discreción de profesores) se podrá realizar un trabajo escrito, de profundización en la materia impartida, realizando posteriormente una presentación oral del mismo.

Otras actividades de evaluación	**Peso:**	40 %

Además será necesario presentar (y serán evaluados) los informes de las prácticas (PR) realizadas a lo largo del curso, así como la asistencia regular.

Calificación final

La calificación final será N_{Final}= 0.60 *N(CU)* + 0. 40 *N(PR)*, donde N(CU) y *N(PR)* son (en una escala 0-10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores.

MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2026-2027)

Ficha de la asignatura:	**Complementos de Análisis Matemático en Física**			**Código**	606799
Materia:	Métodos Matemáticos y Estadísticos	**Módulo:**	Temas de Física Teórica		
Carácter:	Obligatorio	**Curso:**	1º	**Semestre:**	1º

	Total	**Teóricos Seminarios**	**Práct**	**Lab.**
Créditos ECTS:	6	4	2	0
Horas presenciales	45	28	17	0

Profesor/a Coordinador/a	Ángel Rivas Vargas		**Dpto.:**	FT
	Despacho:	03.312.0 (3ª planta, ala oeste)	**e-mail:**	anrivas@ucm.es

Teoría - Detalle de horarios y profesorado

Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.
14	X J	11:30-13:00 11:30-13:00	Ángel Rivas Vargas	Todo el curso	45	FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado

Profesor	Horarios	e-mail	Lugar
Ángel Rivas Vargas	X: 16:30 - 19:30 (+3 horas online)	anrivas@ucm.es	Despacho 03.312.0

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

Adquirir las nociones básicas del Análisis Funcional y profundizar en el estudio de la variable compleja, aprendiendo diversos métodos avanzados para la resolución de ecuaciones diferenciales y el cálculo de desarrollos asintóticos.

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG6, CG7, CG8, CG9, CG10, CG11, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT7, CT8, CT9, CT10, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6.

Resumen
Espacios funcionales. Espacios de Hilbert, bases ortonormales, operadores lineales, teoría de distribuciones.

Conocimientos previos necesarios
Álgebra lineal y cálculo en varias variables. Nociones básicas de ecuaciones diferenciales y variable compleja.

Programa de la asignatura
• Espacios métricos y espacios lineales normados. • Integración y espacios de Lebesgue. • Espacios de Hilbert. Geometría de los espacios de Hilbert. Bases ortonormales. • Operadores lineales en espacios de Hilbert. Teoría espectral. • Teoría de distribuciones. • Aplicaciones en Física Teórica.

Bibliografía
• N. Boccara. *Functional Analysis: An Introduction for Physicists.* Academic Press, New York, 1990. • E. Kreyszig, *Introductory Functional Analysis with Applications*, Wiley, New York, 1989. • J. Muscat, *Functional Analysis: An Introduction to Metric Spaces, Hilbert Spaces and Banach Algebras,* Cham, Springer, 2024. • M. Reed and B. Simon, *Methods of Modern Mathematical Physics, vols. I, II*. Academic Press, New York, 1980. • L. Abellanas y A. Galindo, *Espacios de Hilbert*, Eudema, 1987. • V.S. Vladimirov, *Methods of the Theory of Generalized Functions (Analytical Methods and Special Functions)*, CRC Press, 2002. • I. Stakgold, *Green's Functions and Boundary Value Problems*, Wiley, 2011.

Recursos en internet
Campus virtual

Metodología
Se impartirán clases teóricas y prácticas en las que se explicarán y discutirán los diversos temas del programa. Los conceptos y técnicas introducidos en la explicación de los temas se ilustrarán con ejemplos y problemas que se resolverán en clase. Se estimulará la discusión, individual y en grupo, con los alumnos de todos los conceptos y técnicas introducidos en clase. En las lecciones de teoría se usará la pizarra aunque podrán ser complementadas con proyecciones con ordenador. Como actividades didácticas adicionales, se incluirá la entrega y corrección de ejercicios y, quizá, de trabajos.

Evaluación		
Realización de exámenes	**Peso:**	0 %
Otras actividades de evaluación	**Peso:**	100 %

La evaluación constará, a lo sumo, de tres tipos de pruebas: 1/ Resolución de ejercicios teóricos o prácticos (Calificación=Ej). 2/ Presentación de un mini-trabajo de investigación sobre algún tema de la asignatura que haya adquirido relevancia durante el curso (Calificación=Tr). 3/ Control(es) en clase sobre los problemas propuestos o similares (Calificación=Co)
Calificación final
La calificación final se obtendrá sumando las calificaciones {Ej,Tr,Co} obtenidas en las actividades realizadas.

MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2026-2027)

Ficha de la asignatura:	**Complementos de Geometría y Teoría de Grupos en Física**			**Código**	606800
Materia:	Métodos Matemáticos y Estadísticos	**Módulo:**	Temas de Física Teórica		
Carácter:	Optativo	**Curso:**	1º	**Semestre:**	2º

	Total	**Teóricos Seminarios**	**Práct**	**Lab.**
Créditos ECTS:	6	4	2	0
Horas presenciales	45	28	17	0

Profesor/a Coordinador/a:	José Luis Blazquez Salcedo		**Dpto:**	FT
	Despacho:	03.304.Bis (3ª planta Oeste)	**e-mail**	jlblaz01@ucm.es

Teoría - Detalle de horarios y profesorado

Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
12	L, J	10:00-11:30	José Luis Blazquez Salcedo	Todo el cuatrimestre	45	FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado

Profesor	horarios	e-mail	Lugar
José Luis Blazquez Salcedo	M: 11:00-12:00 X: 10:30-12:30 + 3 horas online	jlblaz01@ucm.es	Despacho 03.304.Bis

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

- Aprender a utilizar diversos métodos avanzados de la geometría diferencial, la teoría de grupos de Lie y la teoría de representaciones, de interés para el estudio de la simetría en problemas físicos.

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG8, CG11, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT9, CT10, CE1, CE2, CE3.

Resumen
Variedades diferenciables, conexiones, grupos y álgebras de Lie. Aplicaciones a la Física.

Conocimientos previos necesarios
Se suponen conocimientos de ecuaciones diferenciales. Conocimientos recomendados: electrodinámica, teoría de campos, relatividad general y gravitación

Programa de la asignatura

- Variedades diferenciables. Tensores. Cálculo exterior. Integración
- Grupos de transformaciones
- Conexiones
- Variedades (pseudo-)riemannianas
- Grupos y Algebras de Lie
- Aplicaciones a la Física.

Bibliografía

- Y. Choquet-Bruhat, C. DeWitt-Morette, M. Dillard-Bleick, *Analysis, manifolds and physics*, North Holland, 1991.
- R. L. Bishop, S. I. Goldberg, *Tensor Analysis on Manifolds*, Dover, New York, 1980..
- A. Mishchenko, A. Fomenko, *A Course of Differential Geometry and Topology*, Mir, Moscow, 1988.
- R. Abraham, J. E. Marsden, T. Ratiu, *Manifolds, Tensor Analysis, and Applications (second edition),* Springer-Verlag, New York, 1988.
- D. Lovelock, H. Rund*, Tensors, Differential Forms and Variational Principles,* Dover, New York, 1989.
- S. Helgason, *Differential Geometry, Lie Groups and Symmetric Spaces*, AMS, Providence, 2001.
- S. Sternberg, *Lectures on Differential Geometry*, AMS Chelsea Publishing, 1999..
- S. Sternberg, *Lie algebras*, 2004. http://www.math.harvard.edu/~shlomo/docs/lie_algebras.pdf
- D. H. Sattinger, O. L. Weaver, *Lie Groups and Algebras with Applications to Physics, Geometry, and Mechanics (third edition),* University of Bangalore Press, New Delhi, 1997.
- K. Nomizu, *Lie Groups and Differential Geometry*, Mathematical Society of Japan, Tokyo, 1956.

Recursos en internet

Campus virtual.

Metodología

Se desarrollarán las siguientes actividades formativas:

- Clases de teoría
- Resolución en clase de problemas propuestos durante el curso
- Exposición de trabajos y/o problemas resueltos por los alumnos

Las lecciones de teoría y la resolución de problemas tendrán lugar fundamentalmente en la pizarra, aunque podrán ser complementadas ocasionalmente con proyecciones con ordenador.

El profesor recibirá individualmente a los alumnos en el horario especificado de tutorías, con objeto de resolver dudas, ampliar conceptos, etc.

Evaluación		
Realización de exámenes	**Peso:**	0%
Otras actividades de evaluación	**Peso:**	100%
Elaboración y presentación de un trabajo sobre temas relacionados con el programa desarrollado (Calificación=Tr). Entrega de problemas propuestos (Calificación=Pr).		
Calificación final		
La calificación final será Cf = 0.7 Tr + 0.3 Pr		

MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2026-2027)

Ficha de la asignatura:	**Modelos Integrables en Física**		**Código**	606801	
Materia:	Métodos Matemáticos y Estadísticos	**Módulo:**	Temas de Física Teórica		
Carácter:	Optativo	**Curso:**	1º	**Semestre**	2º

	Total	**Teóricos Seminarios**	**Práct**	**Lab.**
Créditos ECTS:	6	4	2	0
Horas presenciales	45	28	17	0

Profesor/a Coordinador/a:	Manuel Mañas Baena		**Dpto:**	FT
	Despacho:	02.318.0 (2ª O)	**e-mail**	manuel.manas@ucm.es

Teoría - Detalle de horarios y profesorado

Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.
12	L J	15:00 - 16:30 15:00 - 16:30	Manuel Mañas Baena	Segundo semestre	45	FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado

Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Manuel Mañas Baena	L, M, X: 16:30 - 18:30	manuel.manas@ucm.es	Despacho 02.318.0

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

Aprender las técnicas básicas para construir y analizar los modelos integrables y solubles más importantes en Física, y estudiar sus aplicaciones en otros campos.

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG8, CG11, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT9, CT10, CE1, CE2, CE3.

Resumen

Se introducen técnicas básicas para el análisis de ecuaciones de onda (en derivadas parciales) no lineales. Se deducen las ecuaciones de Korteweg—de Vries, de Schrodinger no lineal NLS y las redes de Toda en diferentes contextos físicos. Se dan técnicas para su resolución como el

método de *inverse scattering.* Finalmente, se presentan algunos resultados de integrabilidad de la mecánica clásica y la relación con la teoría de polinomios ortogonales.

Conocimientos previos necesarios

Ecuaciones diferenciales ordinarias y en derivadas parciales, variable compleja, geometría diferencial.

Programa de la asignatura

1. Introducción histórica:
    a. Fermi—Pasta –Ulam y Zabusky—Kruskal
    b. Scott Rusell
2. Ondas:
    a. Transformada de Fourier. EDPs dispersivas
    b. Energía y leyes de conservación. Caracteristicas
    c. Ondas de choque y condiciones de Rankine-Hugoniot
    d. La cuerda vibrante
    e. EDPs bien puestas
3. Tecnicas asintóticas:
    a. Método de la fase estacionaria y velocidad de grupo
    b. La ecuación de Schrödinger libre
    c. Velocidad de grupo y energía de la onda
    d. Aplicación a KdV lineal
4. Método de las escalas multiples:
    a. Análisis perturbativo regular
    b. Método de Poincare—Stokes
    c. Escalas múltiples
    d. Pendulo simple
5. Ondas en aguas poco profundas
    a. Ecuaciones de Navier—Stokes
        i. Euler vs Lagrange. Tipos de fluidos
        ii. Leray y el problema de Clay
    b. Ecuaciones de Euler con frontera libre
        i. Vorticidad. Fluidos irrotacionales
        ii. Condiciones de frontera libre. Ondas lineales
    c. Aguas someras y KdV
        i. Ecuación de Boussinesq
        ii. Escalas múltiples: KdV. KdV y dimensiones
        iii. Tensión superficial. Ondas transversales y la ecuación de KP. Ondas solitarias
6. Elementos de la Teoria de sistemas integrables
    a. Transformación de Miura. KdV y *modified* KdV. Infinitas leyes de conservación
    b. Invariancia Galileo. El papel de la ecuación de Schrödinger en KdV
    c. Pares de Lax. AKNS y ecuaciones compatibles
7. El método del *scattering* inverso para KdV:
    a. Funciones de onda y wronskianos. Fórmulas de conexión
    b. Extensión holomorfa: Funciones de Green y Ecuaciones de Volterra
    c. El problema inverso
    d. Evolución temporal de los datos de scatering
    e. Problema de Riemann—Hilbert y solitones de KdV
8. Polinomios ortogonales y sistemas integrables
    a. Series de Fourier y polinomios de Chebyshev
    b. Recurrencia y teorema de Favard
    c. Stieltjes y Markov
    d. Reticulo de Toda y polinomios ortogonales

Bibliografía

Textos recomendados:

- Mark J Ablowitz, *Nonlinear Dispersive Waves, Asymptotic Analysis and Solitons* (Cambridge Texts in Applied Mathematics) Cambridge University Press (2011).
- Olivier Babelon, Denis Bernard y Michel Talon, *Introduction to Classical Integrable Systems* (Cambridge Monographs on Mathematical Physics) Cambridge University Press (2007).
- Maciej Dunajski, *Solitons, instantons, and twistors* (Oxford Graduate Texts in Mathematics) Oxford University Press (2010).
- Vladimir S. Gerdjikov, Gaetano Vilasi, Alexandar B. Yanovski, *Integrable Hamiltonian Hierarchies (Spectral and Geometric Methods)* (Lecture Notes in Physics **748**) Springer (2008)
- Alex Kasman, *Glimpses of Soliton Theory: The Algebra and Geometry of Nonlinear PDEs* (Student Mathematical Library **054**) American Mathematical Society (2010)
- R. S. Johnson. A Modern Introduction to the Mathematical Theory of Water Waves, Cambridge University Press 1997.

Clásicos:

- Mark J Ablowitz, y Peter, A. Clarkson, *Solitons, nonlinear evolution equations and inverse scattering* (London Mathematical Society lecture note series **149**) Cambridge University Press (1991)
- Mark J Ablowitz y Harvey Segur, *Solitons and Inverse Scattering Transform* (SIAM Studies in Applied Mathematics **4**) Society for Industrial Mathematics (2000).
- Leonid A. Dickey, *Soliton equations and Hamiltonian systems* (2ed.) (Advanced Series in Mathematical Physics **26**), World Scientific, (2003).
- P. G. Drazin y R.S. Johnson, *Solitons: an introduction*, Cambridge University Press (1989).
- Ludwig D Faddeev y Leon A Takhtajan, *Hamiltonian methods in the theory of solitons* (Classics in Mathematics) Springer (2007).
- Riogo Hirota, The *direct method in soliton theory (Cambridge Tracts in Mathematics **155**),* Cambridge University Press (2004).
- Nigel J. Hitchin, Graeme B. Segal y Richard S Ward, *Integrable systems (twistors, loop groups and Riemann surfaces)* (Oxford Graduate Texts in Mathematics **4**) Oxford University Press (1999).
- Alan C. Newell, *Solitons in mathematics and physics* (CBMS-NSF Regional Congerence Series in Applied Mathematics **48**), Society for Industrial Mathematics (1985).
- Sergei P. Novikov, Solitons *and geometry* (Lezioni Fermiane), Cambridge University Press (1994).
- Sergei P. Novikov, Sergei V Manakov, L P. Pitevski y Volodia E. Zakharov, *Theory of Solitons (The inverse scattering theory)* (Monographs in Contemporary Physics) Springer.

Otros:

- Vladimir Belinski y Enric Verdaguer, *Gravitational Solitons* (Cambridge Monographs on Mathematical Physics) Cambridge University Press (2001).
- John Harnad (ed.) *Random Matrices, Random Processes and Integrable Systems* (CRM Series in Mathematical Physics), Springer-Verlag New York (2011).
- Nicolas Manton y Paul Sutcliffe, Topological Solitons (Cambridge Monographs on Mathematical Physics) Cambridge University Press (2004).
- Pol Vanhaecke, Integrable Systems in the Realm of Algebraic Geometry (Lecture Notes in Mathematics 1638) Springer (2001).

Recursos en internet
Campus virtual

Metodología		
Se desarrollarán las siguientes actividades formativas: Clases de teoría Exposición de trabajos y/o problemas resueltos por los alumnos. Las lecciones de teoría se realizarán fundamentalmente usando la pizarra y proyecciones con ordenador. El profesor recibirá individualmente a los alumnos en el horario especificado de tutorías		
Evaluación		
Realización de exámenes	**Peso:**	0 %
Otras actividades de evaluación	**Peso:**	100 %
Realización de trabajos (50%). (Tr) Realización de problemas (50%). (Pr)		
Calificación final		
CF= 0.5* TR + 0.5*Pr		

MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2026-2027)

Ficha de la asignatura:	**Fenómenos Colectivos en Teoría de Campos**			**Código**	606802
Materia:	Métodos Matemáticos y Estadísticos	**Módulo:**	Temas de Física Teórica		
Carácter:	Optativo	**Curso:**	1º	**Semestre**	2º

	Total	**Teóricos Seminarios**	**Práct**	**Lab.**
Créditos ECTS:	6	4	2	0
Horas presenciales	45	28	17	0

Profesor/a Coordinador/a:	Beatriz Seoane Bartolomé		**Dpto:**	FT
	Despacho:	02.324.0 (2ª O)	**e-mail**	beseoane@ucm.es

Teoría - Detalle de horarios y profesorado

Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.
12	X J	9:00-10:30 13:00-14:30	Beatriz Seoane Bartolomé Daniel Matoz Luis Antonio Fernández Pérez	A determinar	15 15 15	FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado

Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Beatriz Seoane Bartolomé	V: 12:00 – 14:00 y 14:30 – 15:30 L: 10:00 – 13:00 online	beseoane@ucm.es	Despacho 02.324.0
Daniel Matoz Fernández	L, M: 12:00 – 14:00. (+2 horas online)	dmatoz@ucm.es	Despacho 03.324.0
Luis Antonio Fernández Pérez	M: 16:00 – 17:30 J: 19:00 – 19:30. (+3 horas online)	lsntnfp@ucm.es	Despacho 03.320.0

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

- Adquirir dominio suficiente de lenguajes de programación (C, Python, ...) para resolver problemas de cálculo numérico en Física, y aprender a evaluar de manera crítica los resultados obtenidos en las simulaciones numéricas.
- Adquirir competencias básicas de simulación de Monte Carlo, análisis estadístico de datos y estimación de errores.

Competencias
CB6, CB7, CB8, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG6, CG7, CG10, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT9, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5

Resumen
Propiedades emergentes en Mecánica Estadística a través de modelos simples exactamente solubles, cálculos perturbativos, como la teoría de campo medio, y métodos no perturbativos, como las simulaciones de Monte Carlo. Profundización en el estudio de fenómenos críticos y su descripción física. Introducción a la teoría estadística de campos. Introducción a la física de sistemas desordenados, fenomenología del comportamiento vítreo y a la ruptura de simetría de réplica. Aplicación de estas ideas a modelos de redes neuronales y machine learning.

Conocimientos previos necesarios
Los propios de la especialidad de Física Fundamental (en particular Física Estadística y Transiciones de Fase, Mecánica Cuántica y Teoría de Campos).

Programa de la asignatura

- Introducción a los Fenómenos Críticos
  - Concepto de transiciones de fase
  - Parámetros de orden y funciones de respuesta
  - Principio de universalidad
- Teoría de Ginzburg-Landau
  - Teoría de campo medio y exponentes críticos
  - Ruptura de simetría y dimensión crítica inferior.
  - Fluctuaciones, dimensión crítica superior y criterio de Ginzburg.
- Scaling y Grupo de Renormalización
  - Hipótesis de scaling y Grupo de Renormalización.
  - Puntos fijos e identidades de exponentes críticos.
- Métodos de Monte Carlo
  - Número aleatorios.
  - Cadenas de Markov
  - Tiempos de autocorrelación y análisis de datos
  - Estudio numérico de fenómenos críticos.
- Introducción a la Teoría de Campos en el retículo
- Modelos desordenados
  - Introducción a los modelos desordenados
  - Modelo de Sherrington-Kirkpatrick (SK)
- Redes neuronales y machine learning
  - Introducción al machine learning (ML)
  - Del modelo SK a modelos de memoria asociativa: Modelo de Hopfield
  - Perceptrón: Capacidad y error de generalización

Bibliografía

R. J. Baxter, Exactly Solved Models in Statistical Mechanics, Academic Press Inc (1989).

G. Parisi, Statistical Field Theory, Perseus Books Group (1998).

M. Le Bellac, Quantum and Statistical Field Theory, Oxford Science Publications (1992).

D.J. Amit y V. Martín Mayor, Field Theory, the Renormalization Group and Critical Phenomena, World-Scientific Singapore, tercera edición (2005).

A.D. Sokal, Monte Carlo Methods in Statistical Mechanics: Foundations and New Algorithmics (1996). http://www.stat.unc.edu/faculty/cji/Sokal.pdf.

C. Gattringer y C. B. Lang, QCD on the Lattice: An Introductory Presentation, Lecture Notes in Physics vol 788, Springer (2010).

H. Nishimori y G. Ortiz, Elements of Phase Transitions and Critical Phenomena, Oxford Graduate Texts (2015).

H. Nishimori, Statistical Physics of Spin Glasses and Information Processing, Oxford University Press (2001).

M. Mézard, G. Parisi y M. A. Virasoro, Spin Glass Theory and Beyond, World Scientific (1986).

M. Mézard y A. Montanari, Information, Physics and Computation, Oxford Graduate Texts (2009).

A. C. Coolen, R. Kühn, y P. Sollich. Theory of neural information processing systems. OUP Oxford (2005).

Recursos en internet
Campus Virtual

Metodología
Se impartirán clases en la pizarra, en las que se explicarán y discutirán los diversos temas del programa. Además, se distribuirán hojas de ejercicios analíticos o numéricos con aplicaciones sencillas de la teoría y se discutirán durante las horas de clase. Se dará una visión panorámica de los temas más avanzados, no sólo como formación general, sino también para facilitar que los estudiantes interesados puedan profundizar.

Evaluación		
Realización de exámenes	**Peso:**	0 %
Otras actividades de evaluación	**Peso:**	100 %
La evaluación se hará a partir de entregables propuestos durante el curso, resúmenes comentados de seminarios de investigación, y la evaluación del trabajo numérico del laboratorio de computación.		
Calificación final		
La calificación final será la media de todas las calificaciones obtenidas.		

MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2026-2027)

Ficha de la asignatura:	**Sistemas Complejos**			**Código**	606803
Materia:	Métodos Matemáticos y Estadísticos	**Módulo:**	Temas de Física Teórica		
Carácter:	Optativo	**Curso:**	1º	**Semestre:**	2º

	Total	**Teóricos Seminarios**	**Práct**	**Lab.**
Créditos ECTS:	6	4	2	0
Horas presenciales	45	28	17	0

Profesor/a Coordinador/a:	Chantal Valeriani		**Dpto:**	EMFTEL
	Despacho:	01.119.0 (Planta 1ª Este)	**e-mail**	cvaleriani@ucm.es

Teoría - Detalle de horarios y profesorado

Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
12	M J	10:00-11:30 11:30 - 13:00	Chantal Valeriani Juan Manuel Parrondo Nagi Khalil Rodríguez Pablo Rodríguez López Beatriz Seoane Bartolomé	A determinar	10 13 6 6 10	EMFTEL EMFTEL Externo (URJC) Externo (URJC) FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado

Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Chantal Valeriani	L, M, X: 13:30-15:30	cvaleriani@ucm.es	Despacho 01.119
Juan Manuel Parrondo	M y J: 14:30-16:00 (resto online)	parrondo@ucm.es	Despacho 03.216
Nagi Khalil Rodríguez	Contactar con el profesor	nagi.khalil@uah.es	Universidad de Alcala
Pablo Rodríguez López	Contactar con el profesor	pablo.ropez@urjc.es	URJC
Beatriz Seoane Bartolomé	V: 12:00 – 14:00 y 14:30 – 15:30 L: 10:00 – 13:00 online	beseoane@ucm.es	Despacho 02.324.0

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)
▪ Conocer las propiedades y el comportamiento de sistemas complejos y ser capaz de plantear modelos teóricos que describan su dinámica en un ámbito interdisciplinar.

Competencias
CB6, CB7, CB8, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CE1, CE2, CE3.

Resumen
Modelización estocástica, Exponentes críticos, Transición vítrea, Materia activa, Estructura y Dinámica en Redes Complejas.

Conocimientos previos necesarios
Física estadística, Mecánica clásica, Probabilidad, Ecuaciones diferenciales Muy recomendable tener conocimientos de programación para cálculo científico.

Programa de la asignatura

- **MODELIZACIÓN ESTOCÁSTICA**

Eventos aleatorios. Cadenas de Markov. Ecuación maestra. Ecuaciones diferenciales estocásticas: interpretación de Ito y de Stratonovich. Aplicaciones.

- **REDES COMPLEJAS**

Fundamentos: definiciones, métricas, modularidad, estructura a gran escala.
Modelos de redes: grafos aleatorios, modelos de configuración, modelos de crecimiento.
Procesos dinámicos en redes: Percolación, robustez, propagación, sincronización.
Aplicaciones: redes sociales, redes tecnológicas, redes biológicas, redes de información.

- **FÍSICA ESTADÍSTICA INVERSA: MODELADO BASADO EN DATOS**

Introducción a la inferencia Bayesiana.
Inferencia asintótica y teoría de la información.
Problema inverso: Modelos gráficos y reconstrucción de redes de interacción.

- **TRANSICIONES DE FASE Y MATERIA ACTIVA**

Transiciones de fase y exponentes críticos. El modelo de Ising. Simulaciones Monte-Carlo. Algoritmos de Monte Carlo avanzados.
Materia activa: simulaciones y modelo de Vicsek, modelo run-and-tumble and modelo de Active Brownian particles. Física estadística de partículas auto-propulsadas.

Bibliografía

- J.M. Yeomans, *Statistical Mechaics of Phase Transitions*, Oxford University Press, 1992.
- M. E. J. Newman, *Networks: An Introduction*, Oxford University Press, 2010.
- L. Landau and K. Binder, *A Guide to Monte Carlo Simulations in Statistical Phy*sics, Cambridge University Press, 2000
- W.Krauth, *Statistical Mechanics: Algorithms and Computations,* Oxford University Press (2006)
- L. Leuzzi, *Thermodynamics of the glassy state*, CRC press (2007)

- D.J. Amit and V. Martín Mayor*, Field Theory, the Renormalization Group and Critical Phenomena.* World-Scientific Singapore, third edition (2005)
- R. Toral y P. Colet, *Stochastic Numerical Methods: An Introduction for Students and Scientists,* Wiley (2014).
- Cocco, S., Monasson, R., & Zamponi, F. (2022). *From Statistical Physics to Data-driven Modelling: With Applications to Quantitative Biology*. Oxford University Press.

Recursos en internet

1. Grupo de Sistemas complejos URJC: http://www.complexity.es/
2. Grupo Interdisciplinar de Sistemas Complejos (GISC): http://valbuena.fis.ucm.es/gisc/
3. Skype/ Google Meet

(para las reuniones semanales con los estudiantes, con el objetivo de seguir la evolución de su trabajo de evaluación continua)

Metodología

El contenido teórico transmitido a través de clases magistrales en la pizarra y la lectura de textos especializados escogidos cubrirá los temas más fundamentales necesarios para una introducción a la teoría de sistemas complejos.

Cada profesor además expondrá una serie de modelos específicos más directamente relacionados con su investigación, y los estudiantes habrán de realizar un trabajo sobre alguno de los modelos propuestos.

Además de la asimilación de los contenidos teóricos, es fundamental para este curso que el estudiante adquiera competencias de programación necesarias para la simulación en el ordenador de los modelos estudiados. Parte de la docencia de la asignatura estará destinada a perfeccionar estas competencias.

Evaluación

Realización de exámenes	**Peso:**	0 %
Otras actividades de evaluación	**Peso:**	100 %

Los estudiantes trabajarán por grupos en uno de los 7-8 temas de investigación propuestos. Los profesores tendrán contactos semanales con los estudiantes para seguir la evolución de sus trabajos. A final de curso, lo estudiantes se evaluarán por medio de una presentación (Pr) en la cual cada uno expondrá su parte del trabajo a todos los demás. Después de cada presentación de unos 10 minutos, habrá 10 minutos de preguntas.

Se evaluarán trabajo/ejercicios propuestos en clase (Ej) y presentados por el alumno.

Se valorará positivamente la participación en clase en la sesión de ejercicios analíticos y numéricos.

Calificación final

La calificación final será = 0.1*Ej + 0.9*Pr

MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2026-2027)

Ficha de la asignatura:	**Relatividad General**			**Código**	606804
Materia:	Cosmología y relatividad general	**Módulo:**	Temas de Física Teórica		
Carácter:	Obligatorio	**Curso:**	1º	**Semestre:**	1º

	Total	**Teóricos Seminarios**	**Práct**	**Lab.**
Créditos ECTS:	6	4	2	0
Horas presenciales	45	28	17	0

Profesor/a Coordinador/a:	Luis Manuel González Romero		**Dpto:**	FT
	Despacho:	02.320.0 (2ª planta, oeste)	**e-mail**	mgromero@ucm.es

Teoría - Detalle de horarios y profesorado

Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.
14	X J	10:00-11:30 10:00-11:30	Luis Manuel González Romero	Todo el cuatrimestre	45	FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado

Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Luis Manuel González Romero	**1er semestre:** X y J: 11:30-13:00 M y J: 15:00-16:30 **2º Cuatrimestre:** X: 9:30-15:30 (previa cita por email)	mgromero@ucm.es	Despacho 02.320.0

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

- Adquirir destrezas en las técnicas y conceptos geométricos para describir el espaciotiempo y la interacción gravitatoria.
- Compresión de fenómenos físicos característicos de la relatividad general como la emisión, propagación y recepción de ondas gravitatorias o los campos gravitatorios intensos de los agujeros negros.

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5,CG6, CG7, CG8, CG9, CG10,

CG11, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT7, CT8, CT9, CT10, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6.

Resumen

Relatividad general como una teoría geométrica de la interacción gravitatoria. Aspectos formales y físicos.

Conocimientos previos necesarios

Electrodinámica, mecánica teórica, geometría diferencial, relatividad y cosmología, teoría cuántica de campos.

Programa de la asignatura

- Geometría del espaciotiempo
- Campos y gravedad. Ecuaciones de Einstein. Estrellas relativistas
- Estructura global del espaciotiempo y singularidades
- Colapso gravitacional y agujeros negros.
- Uno o varios de los siguientes temas:
  - Radiación gravitatoria
  - Problema de condiciones iniciales y formulación 1+3.
  - Radiación de Hawking

Bibliografía

- S.M. Carroll, Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity, Addison-Wesley, 2003; Lecture notes on general relativity, http://es.arxiv.org/abs/gr-qc/971201.
- R.M. Wald, General Relativity, University of Chicago Press, 1984.
- S.W. Hawking y G.F.R. Ellis, The large scale structure of space-time (Cambridge University Press, 1973).
- C.W. Misner, K.S. Thorne y J.A. Wheeler, Gravitation, Freeman,1973.
- J. Stewart, Advanced general relativity, Cambridge University Press, 1993.
- H. Stephani, D. Kramer, M. MacCallum , C. Hoenselaers y E.Herlt, Exact solutions to Einstein's field equations (Second Edition), Cambridge University Press, 2003.
- A.P. Lightman, W.H. Press, R.H. Price y S.A.Teukolsky, Problem book in relativity and gravitation, Princeton University Press, 1975.
- B.F. Schutz, A first course in general relativity,Cambridge University Press, 1985.
- E. Poisson, An advanced course in general relativity, http://www.physics.uoguelph.ca/poisson/research/agr.pdf.
- N. Straumann, General relativity with Applications to astrophysics, Springer-Verlag, 2004.
- J. Navarro-Salas, A. Fabbi, Modeling black hole evaporation, World Scientific, 2005.

Recursos en internet

Campus virtual.

Metodología

Se impartirán clases teóricas y prácticas en las que se explicarán y discutirán los diversos temas del programa. Los conceptos y técnicas introducidos en la explicación de los temas se ilustrarán con ejemplos y problemas que se resolverán en clase. Se estimulará la discusión, individual y en grupo, con los alumnos de todos los conceptos y técnicas introducidos en clase.

En las lecciones de teoría se usará la pizarra aunque podrán ser complementadas con proyecciones con ordenador.

Como actividades didácticas adicionales, se incluirá la entrega y corrección de ejercicios y, quizá, de trabajos.

Se suministrarán a los estudiantes enunciados de ejercicios con antelación a su resolución y discusión en la clase, que puede incluir la presentación de los mismos por parte de los estudiantes.

El profesor recibirá individualmente a los alumnos en el horario especificado de tutorías, con objeto de resolver dudas o ampliar conceptos.

Evaluación		
Realización de exámenes	**Peso:**	70 %
Examen final		
Otras actividades de evaluación	**Peso:**	30 %
Entrega de problemas, ejercicios o trabajos.		
Calificación final		
La calificación final CF obtenida por el alumno se calculará aplicando la fórmula: CF = máx(E, 07 E + 0,3 A), siendo E y A las notas de examen final y de otras actividades, respectivamente, ambas en la escala 0-10.		

MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2026-2027)

Ficha de la asignatura:	**Física del Modelo Cosmológico Estándar**			**Código**	606805
Materia:	Cosmología y Relatividad General	**Módulo:**	Temas de Física Teórica		
Carácter:	Optativa	**Curso:**	1	**Semestre:**	2

	Total	**Teóricos Seminarios**	**Práct**	**Lab.**
Créditos ECTS:	6	4	2	0
Horas presenciales	45	28	17	0

Profesor/a Coordinador/a:	Antonio López Maroto		**Dpto:**	FT
	Despacho:	03.313.0 (3ª pl., Oeste)	**e-mail**	maroto@ucm.es

Teoría/Prácticas - Detalle de horarios y profesorado

Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
12	X V	16:00-17:30 12:30-14:00	Antonio López Maroto	Todo el cuatrimestre	39	FT

Prácticas - Detalle de horarios y profesorado

Grupo	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.
A	Laboratorio de Física Computacional	Pendiente de determinar	Antonio López Maroto	6	FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado

Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Antonio López Maroto	X,J: 10:30-12:00 (+ 3 horas online)	maroto@ucm.es	Despacho 03.313.0

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

- Adquirir un conocimiento detallado del Modelo Cosmológico Estándar tanto desde el punto de vista observacional como teórico.
- Conocer los problemas fundamentales abiertos en Cosmología y las soluciones propuestas: teoría inflacionaria, modelos de materia oscura y de energía oscura

- Adquirir un conocimiento sólido de la teoría de perturbaciones cosmológicas, de los mecanismos de formación de estructuras y de las anisotropías del fondo cósmico de microondas.

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG8, CG11, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT9, CT10, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5.

Resumen

- Modelo cosmológico estándar
- Inflación
- Teoría de perturbaciones cosmológicas
- Formación de estructuras
- Fondo cósmico de microondas

Conocimientos previos necesarios

Conocimientos previos de Cosmología, Relatividad General y Teoría Cuántica de Campos son muy recomendables para cursar la asignatura con aprovechamiento.

Programa de la asignatura

Teoría

1.- Modelo cosmológico estándar

1.1 Bases observacionales. Distribución de materia a gran escala. Ley de Hubble. Edad del universo. Abundancia de elementos ligeros. Radiación de fondo. Materia oscura. Expansión acelerada y energía oscura

1.2 Bases teóricas. Ecuaciones de Einstein. Métrica de Robertson-Walker. Medida de distancias. Modelos dominados por materia, radiación y constante cosmológica. Horizontes. Termodinámica y desacoplo de partículas. Recombinación y desacoplo materia-radiación. Reliquias cosmológicas: materia oscura fría y caliente. Abundancia de neutrinos y WIMPs

2.- Inflación cosmológica. Problemas del Modelo Cosmológico Estándar: planitud, horizontes y origen de la estructura a gran escala. Conceptos básicos de inflación. Modelos con un solo campo (inflatón): Lagrangiano, ecuaciones del movimiento, aproximación de slow-roll, condiciones iniciales, inflación caótica. Evolución de las escalas durante inflación.

3.- Teoría de perturbaciones cosmológicas

3.1.- Teoría Newtoniana para modos sub-Hubble: perturbaciones adiabáticas y de entropía. Ecuación de Mezsaros. Perturbaciones en fluidos multicomponente. Perturbaciones bariónicas.

3.2.- Teoría relativista de las perturbaciones. Clasificación (escalar, vector, tensor). Invariancia gauge. Potenciales de Bardeen. Elección de gauge. Evolución de las perturbaciones escalares en universos dominados por materia y radiación.

4.- Evolución de las perturbaciones en el plasma de bariones y fotones: aproximación de acoplo fuerte. Ecuaciones de evolución. Oscilaciones acústicas (BAO). Silk damping. Función de transferencia y función de crecimiento de las perturbaciones de materia oscura.

5.- Evolución de las perturbaciones durante inflación. Perturbaciones del campo escalar. Ecuaciones de evolución.

6.- Generación de perturbaciones durante inflación. Cuantización canónica. Perturbaciones escalares. Variable de Mukhanov-Sasaki. Espectro de potencias. Índice espectral e invariancia de escala. Espectro de potencia de materia. Generación de ondas gravitacionales durante inflación**.** Cuantización. Espectro primordial. Condición de consistencia.

7.- **Anisotropías en el fondo cósmico de microondas.** Efectos Sachs-Wolfe, Doppler y Sachs-Wolfe integrado. Propiedades estadísticas de las perturbaciones gaussianas**.** Multipolos y escalas**.** Espectro de potencias angular: plateau de Sachs-Wolfe, picos acústicos, damping tail. Comparación con los resultados de Planck y estimación de parámetros cosmológicos.

Prácticas

Se pretende que los alumnos adquieran un conocimiento más cercano a la investigación real en el campo a la vez que se muestra el enlace entre diversos datos experimentales y los modelos teóricos actuales sobre el origen y evolución del Universo

Fechas: por determinar
Lugar: aula por asignar

Bibliografía

- V.F. Mukhanov, Physical Foundations of Cosmology, Cambridge, (2005).
- E.W. Kolb and M.S. Turner, *The Early Universe*, Addison-Wesley, (1990).
- S. Dodelson, *Modern Cosmology*, Academic Press (2003).
- A.R. Liddle and D.H. Lyth, *Cosmological Inflation and Large-Scale Structure*, Cambridge (2000).
- A.R. Liddle*, An Introduction to Modern Cosmology*, Wiley (2003).
- T. Padmanabhan*, Theoretical Astrophysics, vols: I, II y III*, Cambridge (2000).
- S. Weinberg, *Cosmology*, Oxford (2008).
- R. Durrer, *The Cosmic Microwave Background*, Cambridge (2008).
- D. Baumann, *Cosmology*, Cambridge (2023)

Recursos en internet

Campus virtual

Metodología

- Clases de teoría y problemas.
- Se entregarán a los alumnos hojas con enunciados de problemas especialmente diseñadas para que el alumno vaya ejercitándose de manera gradual, y adquiriendo de forma secuencial las destrezas correspondientes a los contenidos y objetivos de la asignatura.

Se contempla la realización de práctica con ordenador.

Evaluación		
Realización de exámenes	**Peso:**	60%
El examen podrá consistir en la resolución de cuestiones teóricas y/o problemas (de nivel similar a los resueltos en clase) o en la presentación de un trabajo.		
Otras actividades de evaluación	**Peso:**	40%
Realización de prácticas y ejercicios		
Calificación final		
La calificación final será la más alta de las siguientes dos opciones: • $N_{Final} = 0.6N_{Ex}+0.4N_{Otras}$, donde N_{Ex} y N_{Otras} son (en una escala 0 a 10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores • Nota del examen final		

MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2026-27)

Ficha de la asignatura:	**Información Cuántica y Computación Cuántica**			**Código**	606806
Materia:	Información Cuántica	**Módulo:**	Temas de Física Teórica		
Carácter:	Obligatorio	**Curso:**	1º	**Semestre:**	1º

	Total	**Teóricos Seminarios**	**Práct**	**Lab.**
Créditos ECTS:	6	4	2	0
Horas presenciales	45	28	17	0

Profesor/a Coordinador/a:	Miguel A. Martin-Delgado		**Dpto:**	FT
	Despacho:	03.317.0 (3ª pl, FT)	**e-mail**	mardel@ucm.es

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	**Día**	**Horario**	**Profesor**	**Periodo/ Fechas**	**Horas**	**Dpto.**
14	M,V	11:30-13:00	Miguel A. Martin-Delgado Ángel Rivas Vargas	Primera parte Segunda parte	33 12	FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	**horarios**	**e-mail**	**Lugar**
Miguel A. Martin-Delgado	M: 13:00-19:00 (presencial y video conferencia)	mardel@ucm.es	Despacho 03.317.0
Ángel Rivas Vargas	X: 16:30 - 19:30 (+3 horas online)	anrivas@ucm.es	Despacho 03.312.0

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

Introducir al alumno a las nociones y métodos básicos de la Información y Computación Cuánticas, tales como:

- Puertas Lógicas y Circuitos Cuánticos.
- Algoritmos Cuánticos de cómputo: Grover, Shor etc.
- Comunicaciones Cuánticas. Protocolos.
- Criptografía Cuántica QKD. Teorema de No-Clonación Cuántica.
- Teleportación Cuántica. Codificación Densa en Canales Cuánticos.
- Destilación cuántica de entanglement.

- Computación Cuántica Tolerante a Fallos.
- Teorema del umbral de error cuántico.

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5,CG6, CG7, CG8, CG9, CG10, CG11 CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT7, CT8, CT9, CT10, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6.

Resumen

Se desarrollan los aspectos básicos de la Información Cuántica en sus dos vertientes principales: Computación Cuántica y Comunicaciones Cuánticas. Se introducen nociones de Información Clásica. Teoremas de Shannon en información clásica. Información cuántica. Computación cuántica. Criptografía y comunicaciones. Se evalua el impacto de las tecnologías cuánticas. Principales plataformas de computación cuántica: IBM Quantum, Google etc. Algoritmos clásicos y cuánticos: paralelismos y diferencias. Errores cuánticos y su corrección. Sistemas con protección topológica. Estados entrelazados. No localidad y principio de indeterminación. Medidas POVM y operaciones cuánticas. Cuantificación del entanglement y sus medidas.

Conocimientos previos necesarios

Se recomiendan los contenidos adquiridos por el alumno que ha cursado las asignaturas de Física Cuántica I, II, Óptica, Electricidad y Magnetismo I,II y Mecánica Cuántica del grado de Físicas.

Programa de la asignatura

1. Introducción al Formalismo de la Mecánica Cuántica.
2. Teoría Clasica de la Información.
    1. Primer Teorema de Shannon.
    2. Segundo Teorema de Shannon.
    3. Corrección Clásica de Errores.
3. Puertas Lógicas y Circuitos Clásicos.
4. Información Cuántica.
    1. Del Bit al Qubit.
    2. Puertas Lógicas y Circuitos Cuánticos.
    3. Canales Cuánticos.
5. Protocolos de Comunicación Cuánticos.
    1. Teleportación.
    2. Codificación Densa.
    3. Criptografía Cuántica.
6. Algoritmos Cuánticos.
    1. Algoritmo de Grover.
    2. Algoritmo de Shor.
7. Medidas de cercanía entre estados cuánticos.
    1. Entropía relativa.

2. Distancia en traza.
3. Fidelidad y distancia de Bures.
4. Otras medidas de distancia.

8. Teoría de medidas generalizadas.
    1. Repaso medidas proyectivas.
    2. Medidas generalizadas, POVM.
    3. Discriminación de estados cuánticos.
    4. Tomografía de estados.
9. Teoría de operaciones cuánticas o canales.
    1. Representaciones de canales cuánticos (Kraus, Stinespring, dinámicas reducidas, Choi-Jamiolkowski, vectorizaciones).
    2. Contractividad de operaciones de canal (data processing-inequalities).
    3. Fidelidad de un canal.
    4. Tomografía de canales.
10. Medidas de entrelazamiento.
    1. El paradigma "operaciones locales y comunicación clásica".
    2. Requisitos de una medida de entrelazamiento.
    3. Estados puros: entropía de entrelazamiento.
    4. Medidas de entrelazamiento y Monotonías de entrelazamiento.
11. Computacion Cuantica con Variables Continuas.

Bibliografía

Bouwmeester, D, Ekert, A, and Zeilinger, A (Eds.) *The physics of quantum information* Springer-Verlag 2000.

Galindo, A and Martin-Delgado, M.A., *Information and Computation: Classical and Quantum Aspects.* Rev. Mod. Phys. 74 (2002) 347-423.

Nielsen, M.A. and Chuang, I.L., *Quantum Computation and Quantum Information.* Cambridge University Press 2000.

Physics World, volumen de la revista Marzo 1998.

Kitaev, A. Yu., Shen, A. H. and Vyalyi, M. N.,
Classical and Quantum Computation,
American Mathematical Society, vol 47, 2002

M. Hayashi, *Quantum Information. An Introduction*, Springer-Verlag (2006)

M. M. Wilde, *Quantum Information Theory*, Cambridge University Press (2013),

J. Watrous, *The Theory of Quantum Information*, Cambridge University Press (2018)

Recursos en Internet
Página web del curso: http://www.ucm.es/info/giccucm/

Metodología
A) Clases de teoría y problemas impartidas en la pizarra. Discusión con ejemplos, de los aspectos mas relevantes y del fomento de la participación activa del alumno. B) Se entregará a los alumnos material bibliográfico complementario para actualizar contenidos de una asignatura en continuo desarrollo y fomentar su interés por la investigación. C) Clases complementarias con presentaciones informáticas para ilustrar desarrollos experimentales recientes. D) Se estimulará la discusión, el trabajo en grupo y la participación en tutorías. E) Se contempla la invitación de investigadores de reconocido prestigio en temas de la asignatura para para impartir seminarios específicos sobre temáticas de actualidad.

Evaluación		
Realización de exámenes	**Peso:**	30 %
Examen final escrito (ver apartado de calificación final). El examen tendrá una parte de cuestiones teórico-prácticas y/u otra parte de problemas de nivel similar a los resueltos en clase.		
Otras actividades de evaluación	**Peso:**	70 %
Las actividades de evaluación continua constarán de, a lo sumo, dos tipos de pruebas: 1/ Entrega de ejercicios teóricos o prácticos. 2/ Entrega de un mini-trabajo de investigación sobre algún tema de la asignatura que haya adquirido relevancia durante el curso. Sirve de orientación para el trabajo de master.		

Calificación final
Las pruebas de la evaluación continua supondrán en su conjunto, una calificación C cuyo valor estará comprendido entre 0 y 10 puntos. La corrección del examen final, cuando exista, dará lugar a una calificación E cuyo valor estará comprendido entre 0 y 3 puntos. La calificación final N estará comprendida entre 0 y 10 puntos, y se obtendrá como el mayor de los dos siguientes números C y F, con: $F = 0.7\ C + E$ es decir la calificación final es $N = \max\{ C, F \}$

c

MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2026-2027)

Ficha de la asignatura:	**Simulación Cuántica**			**Código**	606807
Materia:	Información Cuántica	**Módulo:**	Temas de Física Teórica		
Carácter:	Optativo	**Curso:**	1º	**Semestre:**	2º

	Total	**Teóricos Seminarios**	**Práct**	**Lab.**
Créditos ECTS:	6	4	2	0
Horas presenciales	45	28	17	0

Profesor/a Coordinador/a:	Ángel Rivas Vargas		**Dpto:**	FT
	Despacho:	03.312.0 (3ª planta, ala oeste)	**e-mail**	anrivas@ucm.es

Teoría - Detalle de horarios y profesorado

Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.
12	M X	15:00-16:30 13:30-15:00	Luis Lorenzo Sánchez Soto Angel Rivas Vargas	Primera Parte Segunda Parte	15 30	Óptica FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado

Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Luis Lorenzo Sánchez Soto	X: 16.00 - 18.00 J: 14.00 - 16.00 V: 12.30 - 14.30	lsanchez@ucm.es	Despacho 01.304.0
Angel Rivas Vargas	X: 16:30 - 19:30 (+3 horas online)	anrivas@ucm.es	Despacho 03.312.0

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

- Introducir al alumno en la descripción de sistemas de óptica cuántica y física atómica con aplicaciones en la investigación de modelos de física de la materia condensada y en el estudio de estados y fenónemos no clásicos de luz.
- Compresión de los métodos de preparación y manipulación de estados cuánticos: ingeniería de Hamiltonianos, medidas de estados cuánticos y control de interacciones.
- Introducción a la teoría de los sistemas de muchos cuerpos que aparecen en sistemas de física atómica: cristales artificiales y sistemas magnéticos efectivos.

- Cuantificación de la complejidad de un sistema cuántico y aplicaciones en física de materiales y simulación cuántica con sistemas atómicos.
- El alumno estará en disposición de entender los avances en el campo de la simulación cuántica, comenzar trabajos de investigación en este campo y entender su impacto y aplicaciones tecnológicas potenciales.

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CE1, CE2, CE3.

Resumen

La simulación y el control de sistemas cuánticos persigue llevar a cabo medidas y procesos cuánticos sofisticados, a fin de estudiar propiedades complejas de la materia, así como desarrollar aplicaciones que requieren un alto grado de dominio sobre la dinámica cuántica. En la asignatura se explicará cómo controlar diversos tipos de sistemas basados en óptica cuántica, física atómica y materia condensada. Así como su uso para reproducir en el laboratorio modelos avanzados de física teórica cuya solución se desconoce, realizar algoritmos en un ordenador cuántico o implementar medidas con un alto grado de precisión. Para ello se proporcionarán al alumno todas las herramientas teóricas necesarias, tanto para la comprensión de los sistemas físicos involucrados (átomos, iones, circuitos superconductores) como para la descripción de su dinámica bajo condiciones de control (hamiltonianos efectivos, teoría de perturbaciones, sistemas cuánticos abiertos, etc.). La asignatura proporciona una visión complementaria a la asignatura de “Información Cuántica y Computación Cuántica”, con un gran énfasis en la implementación física y los últimos desarrollos experimentales.

Programa de la asignatura

1 – Principios de óptica cuántica aplicados a la simulación y el control de sistemas cuánticos

- Interacción luz-materia.
- Eliminación adiabática de grados de libertad: hamiltonianos efectivos.
- Efectos mecánicos de la interacción luz-materia: potenciales y fuerzas ópticas, principios de atrapamiento de átomos.
- Enfriamiento láser.
- Preparación y medición de estados cuánticos por medios ópticos.

2 – Teoría de sistemas cuánticos abiertos y decoherencia

- El problema del aislamiento de un sistema cuántico.
- Modelos sistema-baño.
- Ecuaciones maestras. Aproximación Born-Markov-Secular.
- Decaimiento y decoherencia.

3 – Sistemas cuánticos controlados y simulación cuántica

- El desafío de mantener controlado un sistema cuántico.
- Sistemas de iones atrapados, redes ópticas de átomos, dispositivos superconductores.
- Utilidad de los sistemas cuánticos controlados:
  - Información y computación cuántica.
  - Simulación cuántica digital y analógica de sistemas cuánticos de muchos cuerpos (modelos de materia condensada, física estadísica, teoría de campos).
  - Problemas fundamentales en física cuántica.

4 – Metrología cuántica

- Uso de sistemas cuánticos como sensores.
- Teoría de cuántica de la estimación. Entrelazamiento y límite de Heisenberg.
- Aplicaciones: espectrometría de alta resolución, relojes cuánticos, detección de ondas gravitacionales y otros efectos relativistas.

5 - El futuro de la simulación y el control cuántico

- Estados cuánticos exóticos.
- Otras aplicaciones fundamentales y tecnológicas.

Conocimientos previos necesarios

Aunque la asignatura es auto-contenida, se recomiendan los contenidos adquiridos por el alumno que ha cursado las asignaturas de Física Cuántica I, II, Óptica, Electromagnetismo I, II, Mecánica Cuántica y Física Atómica y Molecular del grado de Físicas.

Bibliografía

1. R. P. Feynman, *Simulating physics with computers*, Int. J. Theor. Phys. 21, 467 (1982).

2. C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc, y Gilbert Grynberg, *Atom-photon interactions: basic processes and applications*, Wiley-Interscience (1992).

3. P. K. Ghosh, *Ion Traps*, Oxford University Press (1995).

4. S. Lloyd, *Universal Quantum Simulators*, Science 273, 1073 (1996).

5. M. O. Scully y M. S. Zubairy, *Quantum Optics*, Cambridge University Press (2001).

6. H.-P. Breuer y F. Petruccione, *The theory of open quantum systems*, Oxford University Press (2002).

7. D. Leibfried, R. Blatt, C. Monroe, and D. Wineland, *Quantum dynamics of single trapped ions*, Rev. Mod. Phys. 75, 281 (2003)

8. A. Rivas y S. F. Huelga, *Open Quantum Systems. An introduction*, Springer 2012 [También en https://arxiv.org/abs/1104.5242].

9. M. Lewenstein, A. Sanpera, y V. Ahufinger, *Ultracold Atoms in Optical Lattices: Simulating quantum many-body systems*, Oxford University Press (2012).

10. *Nature Physics Insight: Quantum Simulation*, Nature Physics 8, 263–299 (2012).

11. S. Haroche y J. -M- Raimond, *Exploring the Quantum*, Oxford University Press (2014).

12. I. M. Georgescu, S. Ashhab, y Franco Nori, *Quantum Simulation*, Rev. Mod. Phys. 86, 153 (2014).

13. T. Byrnes y E. O. Ilo-Okeke, *Quantum Atom Optics: Theory and Applications to Quantum Technology*, Cambridge University Press.

14. C. L. Degen, F. Reinhard, and P. Cappellaro, *Quantum sensing*, Rev. Mod. Phys. 89, 035002 (2017).

15. A. Blais, A. L. Grimsmo, S. M. Girvin, y A. Wallraff, *Circuit Quantum Electrodinamics*, Rev. Mod. Phys. 93, 025005 (2021).

Recursos de Internet
Campus virtual

Metodología
A) Clases de teoría y problemas impartidas en la pizarra. Discusión con ejemplos, de los aspectos más relevantes y del fomento de la participación activa del alumno. B) Se entregará a los alumnos material bibliográfico complementario para actualizar contenidos de una asignatura en continuo desarrollo y fomentar su interés por la investigación. C) Clases complementarias con presentaciones informáticas para ilustrar desarrollos experimentales recientes. D) Se estimulará la discusión, el trabajo en grupo y la participación en tutorías. E) Se contempla la invitación de investigadores de reconocido prestigio en temas de la asignatura para para impartir seminarios específicos sobre temáticas de actualidad.

Evaluación		
Realización de exámenes	**Peso:**	30%
Examen final (véase apartado de Calificación Final). El examen tendrá una parte de cuestiones teórico-prácticas y/u otra parte de problemas de nivel similar a los resueltos en clase.		
Otras actividades de evaluación	**Peso:**	70%
Las actividades de evaluación continua constarán de, a lo sumo, dos tipos de pruebas: 1/ Entrega de ejercicios teóricos o prácticos cuya dificultad podrá esta graduada en tres tipos: B (Baja), M (Media) y A (Alta). 2/ Entrega de un mini-trabajo de investigación sobre algún tema de la asignatura que haya adquirido relevancia durante el curso. Sirve de orientación para el trabajo de master.		
Calificación final		
Las pruebas de la evaluación continua supondrán en su conjunto, una calificación C cuyo valor estará comprendido entre 0 y 10 puntos. La corrección del examen final, cuando exista, dará lugar a una calificación E cuyo valor estará comprendido entre 0 y 3 puntos.		

La calificación final N estará comprendida entre 0 y 10 puntos, y se obtendrá como el mayor de los dos siguientes números C y F, con:

F = 0.7 C + E

es decir la calificación final es N = max{ C, F }

MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2026-2027)

Ficha de la asignatura:	**Trabajo Fin de Máster**			**Código**	606793
Materia:	Trabajo Fin de Máster	**Módulo:**	Trabajo Fin de Máster		
Carácter:	Optativa	**Curso:**	1º	**Semestre:**	1º y 2º

	Total	**Teóricos Seminarios**	**Práct**	**Lab.**
Créditos ECTS:	12			
Horas presenciales				

Profesor/a Coordinador/a:	Ángel Rivas Vargas		**Dpto:**	FT
	Despacho:	03.312.0 (3ª planta, Oeste)	**e-mail**	anrivas@ucm.es

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

Como resultado de la realización del Trabajo de Fin de Máster el alumno habrá aprendido, en primer lugar a evaluar el estado de desarrollo de un problema dentro del marco de la Física Teórica actual, buscando referencias en forma de artículos de divulgación, libros de texto, artículos de revisión (reviews) e incluso artículos de investigación. Así mismo, habrá aprendido a aplicar metodologías, técnicas y competencias propias Física Teórica, desarrolladas en las distintas materias necesarias para resolver un problema concreto en el ámbito específico del Máster. En concreto, se espera del alumno que adquiera las competencias explicadas en el apartado correspondiente y muy en particular que haya sido capaz de:

Estudiar en profundidad, analizar y desarrollar un tema concreto basándose en los contenidos y el nivel de las materias del Máster.

Mostrar capacidad para aplicar las habilidades y competencias adquiridas durante los estudios del Máster a situaciones concretas y nuevas.

Presentar un Proyecto, que puede incluir un componente de introducción a la investigación, haciendo una defensa oral del mismo.

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5,CG6, CG7, CG8, CG9, CG10, CG11, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT8, CT9, CT10, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6.

Resumen

Esta materia pretende el desarrollo por parte del alumno de un trabajo original de revisión o de investigación en el ámbito del programa del Máster de Física Teórica. Los TFM deberán tener un perfil académico o investigador, realizándose en el ámbito de la Universidad o centros de investigación relacionados con el máster o al menos autorizados por la Comisión Coordinadora

del Máster. Los TFM deberán presentarse por escrito y posteriormente defenderse públicamente en las fechas que se establezcan para cada una de las dos convocatorias existentes en cada curso académico.

Requisitos de asignación
Salvo casos excepcionales y debidamente justificados que serán estudiados por la comisión coordinadora, será necesario que el estudiante se haya matriculado en la totalidad de créditos de la titulación para asignarle un tema de Trabajo Fin de Máster.

Programa de la asignatura
El alumno desarrollará de manera individual alguno de los temas ofertados por los profesores que participen en el máster, que se encargarán de su seguimiento y supervisión. Los trabajos elegidos por los alumnos que tengan una orientación académica consistirán en una revisión en profundidad de teorías o modelos ya existentes. En cambio, los trabajos que lleven a cabo alumnos que elijan la orientación investigadora deberán incorporar algún contenido original de modo que el trabajo pueda servir como iniciación de una actividad investigadora futura. Los temas sobre los que versarán trabajos de investigación se corresponderán con las líneas de investigación de los profesores del Máster y la comunidad de investigadores de todas las instituciones colaboradoras. Deberán contener algún aspecto novedoso y potencialmente podrían ser el punto de partida de futuras tesis doctorales en los casos que así resultara posible.

Metodología
Trabajo de Fin de Máster. Para la realización del Trabajo de Fin de Máster de 12 ECTS, el alumno desarrollará de manera individual algunos de los temas ofertados por profesores que participan en el máster, que se encargarán de su seguimiento y supervisión. Los trabajos realizados por los alumnos que elijan la orientación académica tendrán un enfoque orientado a la revisión en profundidad de teorías o modelos ya existentes. En cambio, los trabajos que lleven a cabo los alumnos que elijan la orientación investigadora tendrán que incorporar algún contenido original, de modo que el trabajo pueda servir como iniciación a una carrera investigadora.

Evaluación		
Realización de exámenes	**Peso:**	
Otras actividades de evaluación	**Peso:**	100%
Realización y presentación del Trabajo Fin de Máster (Tr)		
Calificación final		
Cf = Tr		

Tabla de horarios.

PRIMER SEMESTRE

	L	M	X	J	V
10:00		Teorías Gauge de las Interacciones Fundamentales	Relatividad General	Relatividad General	Teorías Gauge de las Interacciones Fundamentales
10:30					
11:00					
11:30		Información Cuántica y Computación Cuántica	Complementos de Análisis Matemático en Física	Complementos de Análisis Matemático en Física	Información Cuántica y Computación Cuántica
12:00					
12:30					
13:00					

SEGUNDO SEMESTRE

	L	M	X	J	V
9:00			Fenómenos Colectivos en Teoría de Campos		
9:30					Fenomenología del Modelo Estándar
10:00	Compementos de Geometría y Teoría de Grupos en Física	Sistemas Complejos		Compementos de Geometría y Teoría de Grupos en Física	
10:30			Campos y Cuerdas		
11:00					Física de Astroparticulas
11:30	Física Experimental de Partículas y Cosmología	Campos y Cuerdas		Sistemas Complejos	
12:00			Física de Astroparticulas		
12:30					Física del Modelo Cosmológico Estándar
13:00	Fenomenología del Modelo Estandar	Física Experimental de Partículas y Cosmología		Fenómenos Colectivos en Teoría de Campos	
13:30			Simulación Cuántica		
14:00					
14:30					
15:00	Modelos Integrables en Física	Simulación Cuántica		Modelos Integrables en Física	
15:30					
16:00			Física del Modelo Cosmológico Estándar		
16:30					
17:00					
17:30					

3. Calendario Académico

Los periodos de clase y exámenes, así como la relación de festividades y días no lectivos pueden consultartese aquí.

Para acceder al calendario académico haga click aquí.

El calendario de exámenes haga click aquí [Pendiente de Publicación].

ANEXO. Enlaces de interés

A continuación, se muestrtan algunos enlaces que pueden ser de utilidad para los alumnos de la titulación. La mayoría de ellos se pueden consultar en la página web de la secretaría de Físicas https://fisicas.ucm.es/secretaria-de-estudiantes.

También puede consultarse la normativa general de la UCM en los enlaces:
https://www.ucm.es/normativauniversidadcomplutense
https://www.ucm.es/estudiar
https://www.ucm.es/master.

Normas de matrícula y de permanencia

Normativa general de la UCM:

Instrucciones de gestión de la Matrícula (estudios oficiales de Grado y Máster) https://www.ucm.es/matricula-estudios-oficiales

Anulación de matrícula https://www.ucm.es/anulacion-de-matricula-1

Normas de permanencia https://www.ucm.es/permanencia-en-la-universidad-

Normativa específica de la Facultad de CC Físicas:

Alumnos de nuevo acceso https://fisicas.ucm.es/matriculanuevoingreso

Resto de alumnos https://fisicas.ucm.es/matricula-resto-de-alumnos

Matrícula de Máster https://fisicas.ucm.es//matricula-master

Modificación de matrícula https://fisicas.ucm.es/modificacion-de-matricula-master

Reconocimiento de créditos http://fisicas.ucm.es/reconocimiento-creditos-grado

Dicho reconocimiento puede obtenerse por:

Realización de actividades universitarias culturales, deportivas, de representación estudiantil, solidarias y de cooperación de la UCM (BOUC no.18 del 8/9/2016) http://pendientedemigracion.ucm.es/bouc/pdf/2470.pdf

Asignaturas superadas en otros estudios

https://www.ucm.es/continuar-estudios-iniciados-en-el-extranjero

Control de cambios

Versión	Fecha modificación	Cambio efectuado	Secciones afectadas	Páginas afectadas
V0.0	21/05/2026	Versión provisional. Pendiente de aprobación Junta de Facultad		
V0.1	27/05/2026	Ficha asignatura “Física de Astropartículas”	Laboratorio Evaluación	17 19
V0.2	29/05/2026	Tutorías (varias asignaturas) Física de Astropartículas	Tutorías Laboratorio	-- 17
V0.3	21/06/2026	Física de Astropartículas	Prácticas	17-19
V1.0	01/07/2026	Aprobada por Junta de Facultad		