

Curso

2020-2021

# Guía Docente del Máster en Física Teórica



Facultad de Ciencias Físicas  
Universidad Complutense de Madrid

Versión 1.3 17/02/2021

Aprobada por Junta de Facultad 22/07/2020

## 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 .....	12
Campos y Cuerdas .....	16
Física de Astropartículas .....	20
Física Experimental de Partículas y Cosmología .....	24
Complementos de Análisis Matemático en Física .....	30
Complementos de Geometría y Teoría de Grupos en Física .....	33
Modelos Integrables en Física .....	37
Fenómenos Colectivos en Teoría de Campos .....	41
Sistemas Complejos .....	44
Relatividad General .....	48
Física del Modelo Cosmológico Estándar .....	52
Información Cuántica y Computación Cuántica .....	56
Simulación Cuántica .....	61
Trabajo Fin de Máster .....	65
3. Tabla de horarios .....	68
4. Calendario Académico .....	69
ANEXO. Enlaces de interés .....	71
Control de cambios .....	72

# 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 Cosmológico Estándar	Optativa	6

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, experimental 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 interdisciplinarios 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 multidisciplinarios 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 BÁSICAS GENERALES																COMPETENCIAS TRANSVERSALES										COMPETENCIAS ESPECÍFICAS																			
			C06	C07	C08	C09	C010	C61	C62	C63	C64	C65	C66	C67	C68	C69	C610	C611	C71	C72	C73	C74	C75	C76	C77	C78	C79	C710	C81	C82	C83	C84	C85	C86	C87	C88	C89	C90	C91	C92	C93	C94	C95	C96				
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	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	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
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	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																							
CAMPOS Y CUERPOS	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	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	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	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	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	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			C06	C07	C08	C09	C010	C61	C62	C63	C64	C65	C66	C67	C68	C69	C610	C611	C71	C72	C73	C74	C75	C76	C77	C78	C79	C710	C81	C82	C83	C84	C85	C86														
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	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	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	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	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																								
			C06	C07	C08	C09	C010	C61	C62	C63	C64	C65	C66	C67	C68	C69	C610	C611	C71	C72	C73	C74	C75	C76	C77	C78	C79	C710	C81	C82	C83	C84	C85	C86														
TRABAJO FIN DE MÁSTER	Trabajo de fin de máster		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	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

## 2. Fichas de las asignaturas



### MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2020-21)

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

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4.2	1.8	
<b>Horas presenciales</b>	45	30	15	0

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Ignazio Scimemi	<b>Dpto:</b>	FT
	<b>Despacho:</b> 23, 2ª pl. O	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:ignazios@ucm.es">ignazios@ucm.es</a>

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.
14	X V	11:30-13:00 10:00-11:30	Ignazio Scimemi	Todo el curso	45	FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	Horarios	e-mail	Lugar
Ignazio Scimemi	L, M: 14:00 a 15:30 (+3h no pr.)	<a href="mailto:ignazios@ucm.es">ignazios@ucm.es</a>	Despacho 23 (2ª planta) Depto FT

(X no pr.): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, campus virtual,...



### 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 implementación 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. Anomalías. 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

Introducción a la Teoría de Distribuciones y al Análisis Funcional. El Grupo de Lorentz y sus representaciones. Teoría Cuántica de Campos. Matriz S, secciones eficaces y anchuras de desintegración. Integral de Camino en Mecánica Cuántica y en Teoría Cuántica de Campos. La Fórmula de Reducción.

#### 2. TEORÍA DE PERTURBACIONES

Diagramas de Feynman. Correcciones radiativas. Regularización. Renormalización. Grupo de Renormalización.

#### 3. TEORÍAS GAUGE

Casos abeliano y no abeliano. El Lagrangiano de una teoría invariante gauge. Cuantización de Teorías gauge abelianas y no abelianas: método de Fadeev-Popov. Reglas de Feynman. Teorías con ruptura espontánea de simetría. Mecanismo de Higgs.

#### 4. EL MODELO ESTÁNDAR

Cromodinámica Cuántica. El Modelo GWS. La Estructura del Modelo Estándar.

Bibliografía
<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.E. Peskin, D.V. Schroeder, <i>An Introduction to Quantum Field Theory</i>. Addison Wesley 1995.</li> <li>• L. Álvarez-Gaumé, M. A. Vázquez-Mozo: <i>An Invitation to Quantum Field Theory</i> Springer Verlag. 2012.</li> <li>• T. P. Cheng, L.F. Li. <i>Gauge Theory of Elementary Particle Physics</i>, Clarendon Press (Oxford) 1984.</li> <li>• S. Pokorski, <i>Gauge Field Theories</i>, Cambridge University Press 1987.</li> <li>• D. Bailin, A. Love, <i>Introduction to Gauge Field Theory</i>. Cambridge University Press, 1987.</li> <li>• E. Leader, E. Predazzi. <i>An Introduction to Gauge Theories and Modern Particle Physics</i> vols 1,2. Cambridge University Press 1996.</li> <li>• F. J. Ynduráin, <i>Relativistic Quantum Mechanics and Introduction to Field Theory</i>, Springer Verlag 1996.</li> <li>• F. J. Ynduráin, <i>The Theory of quark and gluon interactions</i>, Springer-Verlag 1999.</li> <li>• S. Weinberg, <i>The Quantum Theory of Fields</i>, vols.I, II. Cambridge University Press 1994, 1995</li> <li>• P. Ramond, <i>Field Theory: A modern Primer</i>. Addison-Wesley Reading. 1990</li> <li>• A. Zee. <i>Quantum Field Theory in a Nutshell</i>. Princeton University Press. 2010.</li> <li>• H. Kleinert, <i>Path Integrals in Quantum Mechanics, Statistical and Polymer Physics and Financial Markets</i>. World Scientific. Singapore. 2004.</li> </ul>
Recursos en internet
<p>Campus virtual</p> <p>Notas/videos de clases de otros institutos de prestigio, por ejemplo:</p> <p><a href="https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-324-relativistic-quantum-field-theory-ii-fall-2010/">https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-324-relativistic-quantum-field-theory-ii-fall-2010/</a></p>
Metodología
Docencia presencial 100% (Escenario 0)
<p>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.</p>
Docencia semi-presencial (Escenario 1)
<p>Se impartirán las clases en el régimen habitual, asistiendo presencialmente sólo uno de los subgrupos de estudiantes. El resto de estudiantes seguirá la clase a distancia, rotando semanalmente cada subgrupo de forma presencial. Para el seguimiento de la clase a distancia se deberá utilizar la herramienta Collaborate de Moodle, Google Meet o similar, que permita la participación de los estudiantes a distancia, junto con uno o varios de los siguientes métodos: presentación de diapositivas, pizarra electrónica o similar, o clase de pizarra tradicional retransmitida con cámara. El material de algunos de los temas podrá ser grabado previamente y puesto a disposición de los alumnos en el Campus Virtual. En este caso la docencia presencial se dedicará a resolución de problemas, clases prácticas, etc, para cada subgrupo. Las clases se grabarán y las grabaciones y presentaciones se pondrán a disposición de los estudiantes en el Campus Virtual.</p> <p>Se podrán utilizar, como apoyo, videos sobre el temario sacados desde internet.</p>

<b>Docencia en línea (Escenario 2)</b>		
<p>Se proporcionará material a través del Campus Virtual con el contenido de los temas y problemas que se desarrollarán a lo largo del curso. Se realizarán sesiones online a través de las herramientas Collaborate o Google Meet o similar, que se anunciarán con la suficiente antelación en el Campus Virtual cuyo objetivo es presentar temas de teoría, así como la resolución de problemas y dudas.</p> <p>Se podrá utilizar, como apoyo, videos sobre el temario sacados desde internet.</p>		
<b>Evaluación</b>		
<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	60%
Se realizará un examen (EX) a final de curso sobre el temario explicado en clase		
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	40%
Se evaluarán problemas y ejercicios propuestos en clase y entregados por el alumno (PR).		
<b>Calificación final</b>		
Nota = 0.6 EX + 0.4 PR		



## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2020-21)

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

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4.2	1.8	
<b>Horas presenciales</b>	45	30	15	

<b>Coordinador:</b>	Peláez Sagredo, José Ramón			<b>Dpto:</b>	FT
	<b>Despacho:</b>	8, 2ª Planta Ala Oeste. Depto. Física Teórica	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:jrpelaez@fis.ucm.es">jrpelaez@fis.ucm.es</a>	

Teoría/Prácticas - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.
Seminario 3.2	M V	11:30-13:00 9:30-11:00	J.R. Peláez	Todo el curso	15	FT
			A. Gómez Nicola	Todo el curso	15	FT
			J.J. Sanz Cillero	Todo el curso	15	FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
José R. Peláez	L,X: 15:30 a 18:00, X: 12:00 a 13:00	<a href="mailto:jrpelaez@fis.ucm.es">jrpelaez@fis.ucm.es</a>	Despacho 8, Planta 2, Ala Oeste. Depto. FT
Angel Gómez Nicola	M,J: 15:00-18:00	<a href="mailto:gomez@ucm.es">gomez@ucm.es</a>	Despacho 14, Planta 2, Ala Oeste. Depto. FT
Juan Jose Sanz Cillero	M,J: 14:30-16:30 X: 13:30-15:30	<a href="mailto:Jusanz02@ucm.es">Jusanz02@ucm.es</a>	Despacho 11, Planta 2, Ala Oeste. Depto. FT

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Conocer la formulación Lagrangiana de las interacciones fuerte y electrodébil</li> <li>Entender la fenomenología de las interacciones electrodébiles. Bosones electrodébiles y ruptura de simetría.</li> <li>Entender la fenomenología de la cromodinámica cuántica: quarks y hadrones</li> </ul>

- 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  $\begin{smallmatrix} L \\ SEP \end{smallmatrix}$  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

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

- Funciones de Estructura de los hadrones: Dispersión elástica, reglas de suma. Dispersión inelástica. Scaling de Bjorken.
- Modelo Quark. Color y clasificación de hadrones. Quarks pesados.
- QCD: renormalización, libertad asintótica. Violación de scaling y ecuaciones DGLAP. Procesos de interés. El problema del confinamiento. Diagrama de fases.
- Ruptura espontánea de la Simetría Quiral. Teorema de Goldstone. Modelo sigma lineal.
- Física de Hadrones y teorías efectivas.

#### 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. Correcciones radiativas.

Fermiones en el Modelo Estándar. Matriz CKM. Violación de CP. Masas y oscilaciones de neutrinos. Matriz PMNS. Anomalías gauge y su cancelación en el Modelo Estándar.

### Bibliografía

1. F. Halzen, A.D. Martin, Quarks and Leptons, John Wiley and Sons 1984.
2. J.F. Donoghue, E. Golowich, B.R. Holstein, Dynamics of the Standard Model, Cambridge University Press 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. Schafer. 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. The Review of Particle Physics. K. Nakamura et al. (Particle Data Group). J. Phys G37, 075021(2010)
10. P. Pascual, R. Tarrach, QCD for practitioners, Springer-Verlag, 1984
11. S. Pokorski, Gauge Field Theories, Cambridge monographs, 2001
12. C. Burgess, G. Moore, Standard Model (A primer), Cambridge University Press; Reprint editio (2012)
13. R. K. Ellis, W.J. Stirling, B.R. Webber, QCD and Collider Physics, Cambridge Monographs, 2003
14. F. J. Yndurain. The Theory of Quark and Gluon Interactions. Texts and Monographs in Physics. Springer (1999)
- 15 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

#### Docencia presencial 100% (Escenario 0)

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.

#### Docencia semi-presencial (Escenario 1)

Modalidad A: Se impartirán clases presenciales a un subgrupo rotatorio de alumnos, que se retransmitirán de forma síncrona a través de herramientas on-line de la UCM, (Collaborate, Meets, etc...). Las grabaciones quedarán a disposición de los estudiantes en el Campus Virtual.

### Docencia en línea (Escenario 2)

En el escenario de docencia en línea, se activarán actividades didácticas en línea realizadas mediante grabación de vídeos y sesiones online con los estudiantes a través del Campus Virtual así como de las herramientas Google Meet y Collaborate. Se proporcionará material de apoyo a través del campus virtual cuando sea necesario.

Evaluación		
<b>Examen</b>	<b>Peso:</b>	30%
Se realizará un examen (E) con preguntas tipo test o breves		
<b>Asistencia a clase y realización de ejercicios entregables</b>	<b>Peso:</b>	40%
Se evaluará la asistencia y los problemas y ejercicios (AEj) propuestos en clase y entregados por el alumno.		
<b>Trabajos individuales</b>	<b>Peso:</b>	30%
Se realizará un trabajo (Tr) sobre un tema de la asignatura que el alumno deberá entregar al final del curso.		
Calificación final		
$0.4 \times \text{AEj} + 0.3 \times \text{Tr} + 0.3 \times \text{E}$		



## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2020-21)

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

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4.2	1.8	
<b>Horas presenciales</b>	45	30	15	

<b>Profesor/a</b>	Carmelo Perez Martín			<b>Dpto:</b>	FT
<b>Coordinador/a:</b>	<b>Despacho:</b>	10 (3ªO)	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:carmelop@fis.ucm.es">carmelop@fis.ucm.es</a>	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.
Seminario 3.2	L X	13:00-14:30 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	M,J: 11:00-14:00	<a href="mailto:carmelop@fis.ucm.es">carmelop@fis.ucm.es</a>	Despacho 10 (planta 3 oeste)

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Entender la invariancia gauge y sus implicaciones sobre grados de libertad físicos y cuantización.</li> <li>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.</li> </ul>

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 necesitan conocimientos 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. La integral de camino para una teoría gauge.

El determinante de Faddeev-Popov y los campos fantasma. Reglas de Feynman.

#### Tema 3. Invariancia BRS y acción efectiva.

El operador BRS y su cohomología. 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.

### 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-Ramond 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		
<p>-C. Itzykson, J.-B. Zuber, Quantum Field Theory, Dover Publications Inc. (Mineola, NY 2006).</p> <p>- M. E. Peskin, D. V. Schroeder, An Introduction to Quantum Field Theory, Westview Press (Boulder, Co 1995).</p> <p>-M. B. Green, J. H. Schwarz, E. Witten, String theory , vol 1, Cambridge University Press (Cambridge 1987).</p> <p>-J. Polchinski, String theory, vol 1, Cambridge University Press (Cambridge 2000).</p>		
Recursos en internet		
Campus virtual, Google drive, Google meet		
Metodología		
Docencia presencial 100% (Escenario 0)		
<p>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.</p>		
Docencia semi-presencial (Escenario 1)		
<p>Modalidad A: El profesor impartirá las clases en el régimen habitual, asistiendo presencialmente sólo uno de los subgrupos de estudiantes. El resto de estudiantes seguirá la clase a distancia, rotando semanalmente cada subgrupo de forma presencial. Para el seguimiento de la clase a distancia deberá utilizar la herramienta Collaborate de Moodle, Google Meet o similar, que permita la participación de los estudiantes a distancia, junto con uno o varios de los siguientes métodos: presentación de diapositivas, pizarra electrónica o similar, o clase de pizarra tradicional retransmitida con cámara.</p>		
Docencia en línea (Escenario 2)		
<p>La docencia a distancia consistirá en la combinación de sesiones con telepresencia de los estudiantes junto con el uso de material de apoyo, que será puesto a disposición de los alumnos a través de Campus Virtual. El material de apoyo podría incluir clases explicativas grabadas con antelación. Tanto las actividades a realizar como las sesiones de telepresencia serán anunciadas con suficiente antelación. Las actividades con telepresencia tendrán lugar durante el horario oficial de la asignatura publicado en la Guía Docente, para evitar posibles incompatibilidades con los horarios de los alumnos. Las actividades con telepresencia se grabarán para que los alumnos puedan acceder a ellas en caso de que no puedan conectarse en línea en el momento en el que estén teniendo lugar.</p>		

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 2020-21)

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

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4.5	1.5	
<b>Horas presenciales</b>	45	28	11	6

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Juan Abel Barrio Uña			<b>Dpto:</b>	EMFTEL
	<b>Despacho:</b>	221, 3ª planta	<b>e-mail</b>	barrio@gae.ucm.es	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
Seminario 3.2	X	12:00 – 13:30	Jose Miguel Más Hesse	Febrero 2020	6	EMFTEL
	V	12:00 – 13:30	Marcos López Moya	Marzo 2020	5	EMFTEL
			Juan Abel Barrio Uña	Abril 2020	17	EMFTEL

Prácticas/Laboratorios - Detalle de horarios y profesorado					
Grupo	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.
A1	Laboratorio de Física Atómica	4 sesiones (X,V en las horas de teoría)	Jaime Rosado Vélez	3	EMFTEL
			Juan Abel Barrio Uña	3	
	Aula de Informática 1 (4ª Planta)	3 sesiones (V en horario de clase)	Marcos López Moya	5	EMFTEL
	ESAC (Villafranca del Castillo)	1 sesión de 6h (fecha por determinar)	Jose Miguel Más Hesse	6	EMFTEL

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Juan Abel Barrio Uña (*)	L, X: 14:00-15:30	<a href="mailto:barrio@gae.ucm.es">barrio@gae.ucm.es</a>	Dpcho. 221 3ª planta
Marcos López Moya (*)	X: 10:00-13:00	<a href="mailto:marcos@gae.ucm.es">marcos@gae.ucm.es</a>	Dpcho. 220 3ª planta
Jaime Rosado Vélez (*)	L, X: 11:30 -13:00	<a href="mailto:jaime_ros@fis.ucm.es">jaime_ros@fis.ucm.es</a>	Dpcho. 241 3ª planta
Jose Miguel Más Hesse	Concertar con el profesor	<a href="mailto:mm@cab.inta-csic.es">mm@cab.inta-csic.es</a>	

(\*) (3h no presenciales): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, campus virtual, etc., en días laborables.

### 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  
Interacción de rayos X con la materia. Telescopios de rayos X. Astronomía estelar y galáctica de rayos X. Astronomía extragaláctica de Rayos X (Galaxias con Formación Estelar, Núcleos Activos de Galaxias, Cúmulos de Galaxias, GRBs)
- Astrofísica de Rayos Gamma  
Interacción de rayos gamma con la materia. Detectores de rayos gamma en tierra y en satélites. Fuentes y mecanismos de producción de rayos gamma.
- 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 detectores de rayos X, rayos gamma y rayos cósmicos.

#### 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.

### Bibliografía

#### Básica

- Katz, J.I., *High Energy Astrophysics*, Addison-Wesley, 1987
- M.S. Longair. *High Energy Astrophysics Vol 1 y 2*. Cambridge Univ. Press 1994.

#### 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

#### Docencia presencial 100% (Escenario 0)

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.

#### Docencia semi-presencial (Escenario 1)

Modalidad A + B: Para las sesiones de teoría, en algunas lecciones se impartirán clases presenciales a un subgrupo de estudiantes, que serán retransmitidas en directo para el resto a través de Collaborate, Google Meet, o una aplicación similar, haciendo uso de la infraestructura técnica disponible. En otras lecciones se podrá preparar en algunos casos material previamente

grabado que se subirá al campus virtual, empleando las clases presenciales para resolver problemas prácticos.

Las sesiones prácticas se realizarán por parejas, pero sólo habrá un alumno por puesto en cada sesión. De forma que la primera mitad de la sesión estará uno de los alumnos de la pareja en el puesto, y la segunda mitad, el otro. Se podrá preparar material previamente grabado que se subirá al campus virtual, explicando el desarrollo de las prácticas.

### Docencia en línea (Escenario 2)

El material de las clases teóricas (que podrá consistir en transparencias, apuntes, hojas de problemas, resoluciones, vídeos) se subirá al campus virtual de la asignatura, desde el cual se podrá seguir el curso. Se podrán realizar sesiones telemáticas en el horario de clase de cada grupo. Las tutorías serán también a través del campus virtual o por correo electrónico.

Las sesiones prácticas se realizarán por parejas. Los alumnos podrán descargar a través del Campus Virtual datos similares a los que producen los montajes del laboratorio para su análisis y procesado. Se podrá preparar material previamente grabado que se subirá al campus virtual, explicando el desarrollo de las prácticas.

En lo referente a la visita a ESAC se organizará una sesión telemática para conocer su historia, sus actividades y el funcionamiento de la ESA, con especial énfasis en las misiones de altas energías.

### 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.

#### 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
- Evaluación continua mediante participación en clases, resolución de ejercicios y tests propuestos en clase, etc.

### Calificación final

La calificación final será  $Cf = 0.3 \cdot Ex + 0.7 \cdot OA$



## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2020-21)

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

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4.5	1.5	
<b>Horas presenciales</b>	45	28	14	3

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

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
Seminario 3.2	L	11:30-13:00	Isabel Josa	Febrero-Marzo	9	CIEMAT
	M	13:00-14:30	Maria de la Cruz Fouz	Abril	11	
			Maria Cepeda	Mayo	8	

Prácticas - Detalle de horarios y profesorado					
Grupo	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.
A1	Aula CIEMAT	Práctica con Datos	Jose Ma. Hernández	7	CIEMAT
		Práctica con Datos	Aurelio Carnero	7	

Laboratorios - Detalle de horarios y profesorado					
Grupo	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.
A1	CIEMAT	Detector muones	Jesús Puerta Pelayo	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.
- Comprender las técnicas experimentales (detección, análisis de datos, interpretación de resultados) en Física de Partículas y Cosmología.
- Conocer los principales problemas abiertos en Física de Partículas y Cosmología y cómo se abordan en los experimentos actuales.

### 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 de 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

Estudios de Neutrinos: oscilaciones, masas. Neutrinos estériles.

Cosmología: Energía Oscura.

### Conocimientos previos necesarios

Mecánica Cuántica, Teoría Cuántica de Campos, Partículas Elementales

### Programa de la asignatura

#### 1. Introducción a la Física 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.

#### 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, Calorímetros,
- 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. Tratamiento Estadístico de Datos

- Análisis Estadístico de Datos. Simulación procesos físicos. Técnicas MC.

### 4. Experimentos de Física de Partículas 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.
- Cosmología y estudio de Energía Oscura: situación actual, cuestiones sin resolver, resultados experimentales.

**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.

Cada práctica 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. Grupen  
Ed. Cambridge University Press  
ISBN: 0521552168
- "Neutrino Physics",  
K. Zuber  
Series in High Energy Physics, Cosmology and Gravitation, CRC Press, 2010
- "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.

#### 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 physical 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

Las páginas Web donde está disponible el material de la asignatura se encuentran físicamente en un servidor de las máquinas CIEMAT.

Para las clases telemáticas, se organizarán (como se ha realizado ya durante el curso 2019-20) sesiones a través de Skype, previamente convocadas y cuyo enlace se envía a los alumnos con días de antelación. Tienen acceso a las transparencias que se

presentarán. En estas reuniones virtuales se proyecta la pantalla y se da la clase de manera síncrona, siendo además grabada.

Puede utilizarse, de forma alternativa, la aplicación Zoom.

### **Metodología**

#### **Docencia presencial 100% (Escenario 0)**

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.

#### **Docencia semi-presencial (Escenario 1)**

En la presente asignatura, siendo optativa y con un número relativamente bajo de estudiantes, podremos acometer prácticamente todas las clases de forma presencial.

Si fuera necesario una modalidad semi-presencial, ambas A y B son posibles. Para las sesiones de teoría, en algunas lecciones se impartirán clases presenciales a un subgrupo de estudiantes, que serán retransmitidas en directo para el resto a través de Collaborate, Google Meet, o una aplicación similar, haciendo uso de la infraestructura técnica disponible. En otras lecciones se podrá preparar en algunos casos material previamente grabado que se subirá al campus virtual, empleando las clases presenciales para resolver problemas prácticos.

El laboratorio previsto de detección y medida de muones cósmicos será realizado de forma presencial, en las fechas óptimas (por razones sanitarias). Pueden realizarse subgrupos dependiendo del número de alumnos.

Las presentaciones de los trabajos realizados por parte de los alumnos serían presenciales, salvo que las circunstancias requieran ser telemáticas, en cuyo caso se procederá como en las clases teóricas, a través de una plataforma Skype o Zoom.

#### **Docencia en línea (Escenario 2)**

El material de la asignatura está disponible en páginas Web externas: transparencias dadas en cada clase para cada tema, ejercicios y prácticas propuestas para ser desarrollados por los estudiantes y lista de trabajos ofertados, con breve descripción, para complementar la evaluación del alumnado. Las páginas Web se encuentran físicamente en un servidor de las máquinas CIEMAT.

La dirección de la página Web es facilitada a los alumnos el primer día de clase, así como se recogen sus direcciones e-mail (y se proporciona una de contacto genérica de la asignatura) para que el contacto se pueda establecer independientemente de la presencialidad física, ya desde el primer día de clase.

Para las clases telemáticas, se organizarán (como durante el curso 2019-20) sesiones a través de Skype, previamente convocadas y cuyo enlace se envía a los alumnos con días de antelación. Tienen acceso a las transparencias que se presentarán. En estas reuniones virtuales se proyecta la pantalla y se da la clase síncrona, siendo además grabada.

En caso de docencia 100% en línea el laboratorio previsto se modificaría: se realizará por un profesor/a siendo transmitido en línea, o en caso de no ser posible (confinamiento), se haría descripción remota.

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:

0%

#### Otras actividades de evaluación

Peso:

100%

Para aprobar la asignatura será necesario presentar (y serán evaluados) los informes de las prácticas y ejercicios/problemas (PR) realizados a lo largo del curso, así como la asistencia regular al mismo. (65%)

De manera adicional, se realizará un trabajo de profundización en la materia impartida, bien en relación con los datos experimentales provistos durante el curso, bien en algún tema estudiado (TR). Los trabajos serán presentados en clase (OP). (35%).

### Calificación final

La calificación final será  $N_{Final} = 0.65 N(PR) + 0.35 N(TR+OP)$ , donde  $N(PR)$  y  $N(TR+OP)$  son (en una escala 0-10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores.



## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2020-21)

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

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4	2	0
<b>Horas presenciales</b>	45	28	17	0

<b>Profesor/a Coordinador/a</b>	Federico Finkel Morgenstern			<b>Dpto.:</b>	FT
	<b>Despacho:</b>	Ala oeste, 2ª planta, nº 20	<b>e-mail:</b>	<a href="mailto:ffinkel@ucm.es">ffinkel@ucm.es</a>	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.
14	X J	10:00-11:30 11:30-13:00	Federico Finkel Morgenstern	Todo el cuatrimestre	45	FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	Horarios	e-mail	Lugar
Federico Finkel Morgenstern	Primer semestre L: 10:30-13:00 y 14:30-16:30 M: 9:30-11:00  Segundo semestre X: 9:30-13:00 y 14:30-17:00	<a href="mailto:ffinkel@ucm.es">ffinkel@ucm.es</a>	Ala oeste, 2ª planta, despacho nº 20

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
Teoría de la medida. Espacios funcionales. Espacios de Hilbert, bases ortonormales, operadores lineales, series y transformadas de Fourier, teoría de distribuciones, transformada de Fourier de distribuciones. Funciones de Green.

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

Programa de la asignatura
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integral de Lebesgue.</li> <li>• Espacios topológicos, espacios métricos y espacios lineales normados</li> <li>• Espacios de Hilbert. Geometría de los espacios de Hilbert.</li> <li>• Bases ortonormales. Polinomios ortogonales. Series de Fourier.</li> <li>• Operadores lineales en espacios de Hilbert. Teoría espectral.</li> <li>• Espacios de distribuciones. Operaciones con distribuciones. Transformada de Fourier de distribuciones.</li> </ul>

Bibliografía
<ul style="list-style-type: none"> <li>• N. Boccara. <i>Functional Analysis: An Introduction for Physicists</i>. Academic Press, New York, 1990.</li> <li>• M. Reed and B. Simon, <i>Methods of Modern Mathematical Physics, vols. I, II</i>. Academic Press, New York, 1980.</li> <li>• L. Abellanas y A. Galindo, <i>Espacios de Hilbert</i>, Eudema, 1987.</li> <li>• V.S. Vladimirov, <i>Methods of the Theory of Generalized Functions (Analytical Methods and Special Functions)</i>, CRC Press, 2002.</li> <li>• I. Stakgold, <i>Green's Functions and Boundary Value Problems</i>, Wiley, 2011.</li> <li>• C.M. Bender, S.A. Orszag, <i>Advanced Mathematical methods for scientists and engineers</i>. Springer 1999.</li> </ul>

Recursos en internet
Campus virtual

Metodología	
Docencia presencial 100% (Escenario 0)	
<p>Se desarrollarán las siguientes actividades formativas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Clases de teoría</li> <li>• Resolución en clase de problemas propuestos durante el curso</li> </ul> <p>Las lecciones de teoría y la resolución de problemas tendrán lugar fundamentalmente en la pizarra, aunque podrán ser complementadas ocasionalmente con proyecciones con ordenador.</p> <p>El profesor recibirá individualmente a los alumnos en el horario especificado de tutorías, con objeto de resolver dudas, ampliar conceptos, etc.</p>	
Docencia semi-presencial (Escenario 1)	
<p>En este escenario se seguirá la modalidad A del Documento de Medidas extraordinarias de planificación y organización docente para el curso 2020-21: Se impartirán clases presenciales a un subgrupo rotatorio de alumnos, que se retrasmitirán de forma síncrona a través de herramientas on-line de la UCM, (Collaborate, Meets, etc...), grabando las clases presenciales con la cámara del aula. Se pondrá a disposición de los estudiantes en el Campus Virtual material como los apuntes de la asignatura o problemas resueltos en detalle.</p>	
Docencia en línea (Escenario 2)	
<p>Se impartirán las clases de forma telemática en sesiones de Google Meet o Collaborate en los horarios habituales de la asignatura, que serán grabadas y puestas a disposición de los estudiantes en el Campus Virtual, junto con el mismo material que en el Escenario 1 de docencia semi-presencial.</p>	

Evaluación		
Realización de exámenes	Peso:	0%
Otras actividades de evaluación	Peso:	100%
<p>La evaluación se realizará mediante las siguientes actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrega de problemas/trabajos propuestos (Calificación=Pp)</li> <li>• Control(es) en clase sobre los problemas propuestos o similares (Calificación=Co)</li> </ul>		
Calificación final		
<p>La calificación final será un promedio de las actividades realizadas. <math>Cf = 0.6 Pp + 0.4 Co</math></p>		





## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2020-21)

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

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4	2	0
<b>Horas presenciales</b>	45	28	17	0

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Rafael Hernández Redondo			<b>Dpto:</b>	FT
	<b>Despacho:</b>	22, tercera planta Oeste	<b>e-mail</b>	rafahern@ucm.es	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
Seminario 3.2	L-J	10:00-11:30	Rafael Hernández Redondo	Todo el semestre	45	FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Rafael Hernández Redondo	M,X: 09:00-12:00	rafahern@ucm.es	Despacho 22, FT

### 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 Álgebras 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](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

### Docencia presencial 100% (Escenario 0)

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.

### Docencia semi-presencial (Escenario 1)

Si el aforo del aula lo permite, tras tenerse en cuenta el número de alumnos matriculados en la asignatura, se mantendrá la presencialidad habitual. Si no puede mantenerse la presencialidad habitual, el grupo se dividirá en subgrupos cuyo tamaño cumpla con el aforo máximo permitido del aula. Se formarán dos subgrupos, divididos de acuerdo con la paridad del número de DNI o NIE de los estudiantes.

El número de horas presenciales impartidas por el profesor será el que corresponde a la distribución habitual recogida en la Guía Docente.

Tras la división en subgrupos, el profesor impartirá las clases en el régimen y horario habitual. A estas clases asistirá presencialmente sólo uno de los subgrupos de estudiantes. El resto de estudiantes seguirá la clase a distancia. Cada subgrupo rotará semanalmente de forma presencial. Para el seguimiento de la clase a distancia se utilizarán las herramientas Collaborate de Moodle o Google Meet, de tal modo que los estudiantes podrán participar a distancia. Además, la clase de pizarra será retransmitida con cámara. La clase quedará grabada, y las grabaciones y presentaciones se pondrán a disposición de los estudiantes a través del Campus Virtual. El profesor pondrá también a disposición de los estudiantes en el Campus Virtual material bibliográfico para seguir las clases teóricas. Este material permitirá adquirir las mismas competencias que las clases teóricas presenciales. La docencia presencial en esta modalidad se dedicará a resolución de problemas y clases prácticas para cada subgrupo. La organización docente de la Facultad establecerá los turnos de presencialidad con antelación al comienzo de las clases de la asignatura. Se procurará concentrar en la misma semana el mayor número posible de clases presenciales para los estudiantes.

### Docencia en línea (Escenario 2)

La docencia a distancia consistirá en la combinación de sesiones con telepresencia de los estudiantes junto con el uso de material de apoyo, que será puesto a disposición de los alumnos a través de Campus Virtual. El material de apoyo incluirá clases explicativas grabadas con antelación. Tanto las actividades a realizar como las sesiones de telepresencia serán anunciadas con suficiente antelación. Las actividades con telepresencia tendrán lugar durante el horario oficial de la asignatura publicado en la Guía Docente, para evitar posibles incompatibilidades con los horarios

<p>de los alumnos. Las actividades con telepresencia se grabarán para que los alumnos puedan acceder a ellas en caso de que no puedan conectarse en línea en el momento en el que estén teniendo lugar.</p> <p>El número de horas de telepresencia semanal será inferior al número de horas de clase asignada, con objeto de evitar situaciones de colapso de red o de concurrencia excesiva de licencias de software.</p> <p>Las tutorías se atenderán bien de forma individual o bien en grupo mediante el uso de las herramientas anteriores o del correo electrónico. Cuando las tutorías se realicen con telepresencia, tendrán lugar preferentemente durante el horario de tutorías oficial publicado en la Guía Docente.</p>		
<b>Evaluación</b>		
<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	0%
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	100%
<p>Elaboración y presentación de un trabajo sobre temas relacionados con el programa desarrollado (Calificación=Tr).</p> <p>Entrega de problemas propuestos (Calificación=Pr).</p>		
<b>Calificación final</b>		
<p>La calificación final será <math>Cf = 0.7 Tr + 0.3 Pr</math></p>		



## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2020-21)

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

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4	2	0
<b>Horas presenciales</b>	45	28	17	0

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Manuel Mañas Baena			<b>Dpto:</b>	FT
	<b>Despacho:</b>	10, 2ª O	<b>e-mail</b>	manuel.manas@ucm.es	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.
Seminario 3.2	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	Primer cuatrimestre: L: 10:30-13:30 (+3 h no pr.) Segundo cuatrimestre: M,X y V: 12:00-13:00 (+3 h no pr.)	<a href="mailto:manuel.manas@ucm.es">manuel.manas@ucm.es</a>	Despacho 10, 2ª O

(X no pr.): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, campus virtual,...

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 <i>inverse scattering</i> . 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
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Introducción histórica:             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Fermi—Pasta —Ulam y Zabusky—Kruskal</li> <li>b. Scott Russell</li> </ol> </li> <li>2. Ondas:             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Transformada de Fourier. EDPs dispersivas</li> <li>b. Energía y leyes de conservación. Características</li> <li>c. Ondas de choque y condiciones de Rankine-Hugoniot</li> <li>d. La cuerda vibrante</li> <li>e. EDPs bien puestas</li> </ol> </li> <li>3. Técnicas asintóticas:             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Método de la fase estacionaria y velocidad de grupo</li> <li>b. La ecuación de Schrödinger libre</li> <li>c. Velocidad de grupo y energía de la onda</li> <li>d. Aplicación a KdV lineal</li> </ol> </li> <li>4. Método de las escalas múltiples:             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Análisis perturbativo regular</li> <li>b. Método de Poincare—Stokes</li> <li>c. Escalas múltiples</li> <li>d. Pendulo simple</li> </ol> </li> <li>5. Ondas en aguas poco profundas             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Ecuaciones de Navier—Stokes                 <ol style="list-style-type: none"> <li>i. Euler vs Lagrange. Tipos de fluidos</li> <li>ii. Leray y el problema de Clay</li> </ol> </li> <li>b. Ecuaciones de Euler con frontera libre                 <ol style="list-style-type: none"> <li>i. Vorticidad. Fluidos irrotacionales</li> <li>ii. Condiciones de frontera libre. Ondas lineales</li> </ol> </li> <li>c. Aguas someras y KdV                 <ol style="list-style-type: none"> <li>i. Ecuación de Boussinesq</li> <li>ii. Escalas múltiples: KdV. KdV y dimensiones</li> <li>iii. Tensión superficial. Ondas transversales y la ecuación de KP. Ondas solitarias</li> </ol> </li> </ol> </li> </ol>

6. Elementos de la Teoría de sistemas integrables
  - a. Transformación de Miura. KdV y mKdV. 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 scattering
  - e. Problema de Riemann—Hilbert y solitones de KdV
8. Polinomios ortogonales y sistemas integrables
  - a. Series de Fourier y polinomios de Chebichev
  - b. Recurrencia y teorema de Favard
  - c. Stieljes 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 Conference 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

#### Docencia presencial 100% (Escenario 0)

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

#### Docencia semi-presencial (Escenario 1)

Modalidad A: Se impartirán clases presenciales a un subgrupo rotatorio de alumnos. Clases en pizarra electrónica, en su defecto y excepcionalmente sesiones de clase videograbadas en la pizarra tradicional. Emisiones en streaming a través de Collaborate en Moodle.

#### Docencia en línea (Escenario 2)

Clases grabadas en vídeo subidas a Moodle. Sesiones de tutorías en streaming y grabadas con Collaborate usando Moodle.

### Evaluación

**Realización de exámenes**

**Peso:**

0%

**Otras actividades de evaluación**

**Peso:**

100%

Realización de trabajos (50%). (Tr)

Realización de problemas (50%). (Pr)

### Calificación final

$CF = 0.5 \cdot TR + 0.5 \cdot Pr$





## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2020-21)

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

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4	2	0
<b>Horas presenciales</b>	45	28	17	0

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Víctor Martín Mayor			<b>Dpto:</b>	FT
	<b>Despacho:</b>	4, 3ª O	<b>e-mail</b>	vicmarti@ucm.es	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.
Seminario 3.2	X	9:00-10:30	Víctor Martín Mayor	Primera parte	30	FT
	J	13:00-14:30	Luis Antonio Fenández	Segunda parte	15	

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Víctor Martín Mayor	L, X: 12:00-13:00 M: 10:30-12:30 J: 11:00-13:00	<a href="mailto:vicmarti@ucm.es">vicmarti@ucm.es</a>	Desp. 4, 3ª pl O
Luis Antonio Fenández	L: 16:00-17:00 y 18:30-19:30 X: 16:00-17:00 (+3 h no pr.)	lsntnfp@ucm.es	Desp. 3, 3ª pl O

(X no pr.): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, campus virtual,...

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)
<ul style="list-style-type: none"> <li>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.</li> <li>Adquirir competencias básicas de simulación de Monte Carlo, análisis estadístico de datos y estimación de errores.</li> </ul>

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
Integral de caminos como nexo de unión entre la teoría cuántica de campos y la mecánica estadística. Discretización y cuantificación de teorías de campos (variables bosónicas, fermiónicas y de gauge). Aplicaciones a la qcd: confinamiento, matriz de transferencia, masas. El método de monte carlo: cálculos no perturbativos en teoría cuántica de campos y en mecánica estadística. Regreso al continuo: la teoría de los fenómenos críticos, el grupo de renormalización en el espacio real y el <i>finite-size scaling</i> .

Conocimientos previos necesarios
Los propios de la especialidad de Física Fundamental (en particular Mecánica Cuántica, Teoría de Campos) y conocimientos básicos de Estadística.
Programa de la asignatura
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mecánica Cuántica, y Teoría Cuántica de Campos formuladas como un problema de Mecánica Estadística.</li> <li>Cuantificación en el retículo: campos bosónicos y fermiónicos, álgebra de Grassmann.</li> <li>Campos de Gauge en el retículo. La acción de Wilson. Introducción a la QCD en el retículo.</li> <li>El método de Monte Carlo.</li> <li>El límite continuo: teoría de los fenómenos críticos. Grupo de Renormalización en el espacio real. <i>Finite Size Scaling</i>.</li> </ul>

Bibliografía
<p>D.J. Amit &amp; V. Martín Mayor, Field Theory, the Renormalization Group and Critical Phenomena. World-Scientific Singapore, third edition (2005).</p> <p>Monte Carlo Methods in Statistical Mechanics: Foundations and New Algorithmics. A.D. Sokal 1996. <a href="http://www.stat.unc.edu/faculty/cji/Sokal.pdf">http://www.stat.unc.edu/faculty/cji/Sokal.pdf</a>.</p> <p>G. Parisi, Statistical Field Theory. Perseus Books Group (1998).</p> <p>M. Creutz, Quarks, gluons and lattices, Cambridge University Press (1983).</p> <p>H.J. Rothe, Lattice Gauge Theories, An Introduction. World-Scientific Singapore, second edition (1997).</p> <p>I. Montvay, G. Münster, Quantum Fields on a Lattice, Cambridge University Press (1994).</p>
Recursos en internet
Campus Virtual

Metodología
<p><b>Docencia presencial 100% (Escenario 0)</b></p> <p>Se impartirán clases, en la pizarra, en las que se explicarán y discutirán los diversos temas del programa. Los temas básicos se desarrollarán detalladamente mediante cálculos explícitos. Se dará una visión panorámica de los temas más avanzados, para información general y también para facilitar que los estudiantes interesados puedan profundicen en ellos posteriormente.</p>
<p><b>Docencia semi-presencial (Escenario 1)</b></p> <p>Modalidad A: El profesor impartirá las clases en el régimen habitual, asistiendo presencialmente sólo uno de los subgrupos de estudiantes. El resto de estudiantes seguirá la clase a distancia, rotando semanalmente cada subgrupo de forma presencial. Para el seguimiento de la clase a distancia se deberá utilizar la herramienta Collaborate de Moodle, Google Meet o similar, que permita la participación de los estudiantes a distancia, junto con uno o varios de los siguientes métodos: presentación de diapositivas, pizarra electrónica o similar, o clase de pizarra tradicional retransmitida con cámara.</p>
<p><b>Docencia en línea (Escenario 2)</b></p> <p>Se proporcionará material docente a través de Google Drive. Se utilizarán herramientas para comunicación colectiva en directo, como Google Meet. Se atenderán las tutorías mediante correo electrónico o Google Meet.</p>

Evaluación		
Realización de exámenes	Peso:	0%
Otras actividades de evaluación	Peso:	100%
<p>Los profesores propondrán diversos temas relacionados con la asignatura. Cada estudiante deberá elegir uno de los temas, redactar un trabajo de extensión moderada y realizar una presentación del mismo.</p> <p>Los temas propuestos podrán ser:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Resúmenes de artículos recientes</li><li>• Complementar algún tema cuyo desarrollo sólo se ha iniciado durante las clases.</li><li>• Realizar un análisis numérico de datos procedentes de simulaciones de Monte Carlo (se proporcionarán los datos; no se requerirán conocimientos de programación).</li></ul> <p>Se podría plantear a quien esté particularmente interesado en profundizar en el tema de simulaciones de Monte el ampliar este proyecto hasta convertirlo en un Trabajo de Fin de Máster.</p>		
Calificación final		
Realización 30% y presentación de trabajo 70%		



## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2020-21)

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

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4	2	0
<b>Horas presenciales</b>	45	28	17	0

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Chantal Valeriani			<b>Dpto:</b>	EMFTEL
	<b>Despacho:</b>	Despacho 119. Planta 1ª Este	<b>e-mail</b>	cvaleriani@ucm.es	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
Seminario 3.2	M J	10:00-11:30 11:30 - 13:00	Chantal Valeriani	A determinar	23	EMFTEL
			Juan Manuel Parrondo		10	EMFTEL
			Nagi Khali		6	Externo (URJC)
			Pablo Rodriguez		6	Externo (URJC)

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Chantal Valeriani	M,J: 13:00-14:30 (3 h no pr.)	cvaleriani@ucm.es	Despacho 119. Planta 1ª Este
Juan Manuel Parrondo	X:16:00-18:00 J: 17:00-19:00	<a href="mailto:parr@seneca.fis.ucm.es">parr@seneca.fis.ucm.es</a>	Despacho 216 Depto EMFTEL
Nagi Khali Rodriguez	Contactar con el profesor	<a href="mailto:nagi.khali@urjc.es">nagi.khali@urjc.es</a>	URJC
Pablo Rodriguez	Contactar con el profesor	<a href="mailto:pablo.ropez@urjc.es">pablo.ropez@urjc.es</a>	URJC

(X no pr.): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, campus virtual,...

### 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

Dinámica no lineal y sistemas caóticos, Sincronización, Modelización estocástica, Teoría de campo medio, Exponentes críticos, Materia activa, Estructura y Dinámica en Redes Complejas.

### Conocimientos previos necesarios

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

### Programa de la asignatura

#### 1. TRANSICIONES DE FASE Y MATERIA ACTIVA

Mecánica estadística, transiciones de fase y exponentes críticos. El modelo de Ising. Teorías de campo medio y teoría de Ginzburg-Landau. Simulaciones Monte-Carlo. Grupo de renormalización. Materia activa: el modelo de Vicsek. Física estadística de partículas auto-propulsadas.

#### 2. MODELIZACIÓN ESTOCÁSTICA

Eventos aleatorios. Cadenas de Markov. Ecuación maestra. Ecuaciones diferenciales estocásticas: interpretación de Ito y de Stratonovich. Aplicaciones y fenómenos inducidos por ruido: motores Brownianos, dinámica de poblaciones.

#### 3. DINÁMICA NO LINEAL Y FORMACIÓN DE PATRONES

Teoría cualitativa de ecuaciones diferenciales ordinarias. Bifurcaciones, estabilidad y caos. Sistemas excitables. Osciladores acoplados y sincronización. Ecuaciones de reacción-difusión y formación de patrones. Aplicaciones en modelización de cinética química, dinámica de poblaciones, finanzas, etc.

#### 4. REDES COMPLEJAS

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

Bibliografía
<ul style="list-style-type: none"> <li>• J.M. Yeomans, Statistical Mechanics of Phase Transitions, Oxford University Press, 1992.</li> <li>• J.D. Murray, Mathematical biology, Springer, 2002.</li> <li>• C. W. Gardiner, Handbook of Stochastic Methods, Springer, 2004.</li> <li>• A. Katok y B. Hasselblatt, Introduction to the Modern Theory of Dynamical Systems, Cambridge University Press, 1997.</li> <li>• S.H. Strogatz, Nonlinear dynamics and chaos, Addison-Wesley, 1994.</li> <li>• M. E. J. Newman, Networks: An Introduction, Oxford University Press, 2010.</li> <li>• K. Kaneko, Complex Systems: Chaos and Beyond, A Constructive Approach with Applications in Life Sciences, Springer, 2000.</li> <li>• Gotelli, NJ, A primer of Ecology, Oxford University Press, 2008.</li> <li>• Hull, JC, Options, Futures, and Other Derivatives, Pearson Education, 2015.</li> <li>• A. Pikovsky, M. Rosenblum y J. Kurths, Synchronization, a universal concept in nonlinear sciences, Cambridge University Press, 2001.</li> </ul>
Recursos en internet
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Grupo de Sistemas complejos URJC: <a href="http://www.complexity.es/">http://www.complexity.es/</a></li> <li>2. Grupo Interdisciplinar de Sistemas Complejos (GISC): <a href="http://valbuena.fis.ucm.es/gisc/">http://valbuena.fis.ucm.es/gisc/</a></li> </ol> <p>Colaborate/Campus Virtual (a través del cual se darán las clases virtuales)</p> <p>Skype (para las reuniones semanales con los estudiantes, con el objetivo de seguir la evolución de su trabajo de evaluación continua)</p> <p>Google Meet (a través del cual los estudiantes podrán presentar su trabajo de evaluación continua, compartiendo la pantalla con los profesores y con todos los alumnos de la asignatura)</p>

Metodología	
<table border="1" data-bbox="119 1447 1422 1487"> <tr> <th data-bbox="119 1447 1422 1487">Docencia presencial 100% (Escenario 0)</th></tr> </table> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>	Docencia presencial 100% (Escenario 0)
Docencia presencial 100% (Escenario 0)	

### Docencia semi-presencial (Escenario 1)

1- Si el número de alumnos no supera el aforo de semipresencialidad en las aulas, se impartirá igual que el escenario 0

2- Si el número de alumnos fuera mayor, se utilizará la modalidad A: Se impartirán clases presenciales a un subgrupo rotatorio de alumnos, que se retransmitirán de forma síncrona a través de herramientas on-line de la UCM, (Collaborate, Meets, etc...). Las grabaciones quedarán a disposición de los estudiantes en el Campus Virtual.

### Docencia en línea (Escenario 2)

Las distintas partes de la asignatura (al ser una asignatura impartida por cuatro profesores) serán explicadas a través de una combinación de distintos recursos:

- pizarra (Tablet Wacom): las clases se darán en directo y/o se grabarán en Collaborate/Google Meet. Las pizarras generadas en cada clase serán colgadas en el campus virtual en formato pdf
- transparencias de Power Point, que se compartirán con los estudiantes a través de Collaborate/Google Meet

Además, todos los profesores estarán a disposición de los alumnos para dudas o preguntas a través de Google Meet/Skype.

### Evaluación

<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	0%
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	100%
<p>Se evaluarán trabajo/ejercicios propuestos en clase y presentados por el alumno.</p> <p>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, los estudiantes prepararán una presentación (en la cual cada uno presentará una parte de la presentación de cada grupo), y la presentarán a todos los demás. Después de cada presentación de 10 minutos, habrá 10 minutos de preguntas.</p>		
<b>Calificación final</b>		
La calificación final será $Cf = Pr$ .		



## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2020-21)

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

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4	2	0
<b>Horas presenciales</b>	45	28	17	0

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Luis Manuel González Romero			<b>Dpto:</b>	FT
	<b>Despacho:</b>	6	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:mgromero@fis.ucm.es">mgromero@fis.ucm.es</a>	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.
14	M 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	M, J: 11:30-13:30 J: 15:00-17:00	<a href="mailto:mgromero@fis.ucm.es">mgromero@fis.ucm.es</a>	Despacho 6, planta 2

### 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.
- Problema de condiciones iniciales y formulación 1+3.
- Radiación gravitatoria

### 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.

### Recursos en internet

Campus virtual.

## Metodología

### Docencia presencial 100% (Escenario 0)

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.

### Docencia semi-presencial (Escenario 1)

Si no puede mantenerse la presencialidad habitual teniendo en cuenta el número de matriculados, el grupo se dividirá en subgrupos cuyo tamaño cumpla con el aforo máximo permitido del aula.

Tras la división en subgrupos, el profesor impartirá las clases en el régimen habitual, asistiendo presencialmente sólo uno de los subgrupos de estudiantes. El resto de estudiantes seguirá la clase a distancia, rotando semanalmente cada subgrupo de forma presencial. Para el seguimiento de la clase se utilizará la herramienta Collaborate de Moodle, Google Meet o similar, que permita la participación de los estudiantes a distancia, junto con uno o varios de los siguientes métodos: presentación de diapositivas, pizarra electrónica o similar, o clase de pizarra tradicional retransmitida con cámara. Las clases quedarán grabadas y las grabaciones y presentaciones se pondrán a disposición de los estudiantes en el Campus Virtual.

### Docencia en línea (Escenario 2)

La docencia a distancia consistirá en la combinación de sesiones con telepresencia de los estudiantes junto con el uso de material de apoyo, que será puesto a disposición de los alumnos a través de Campus Virtual. El material de apoyo incluirá clases explicativas grabadas con antelación. Tanto las actividades a realizar como las sesiones de telepresencia serán anunciadas con suficiente antelación. Las actividades con telepresencia tendrán lugar durante el horario oficial de la asignatura publicado en la Guía Docente, para evitar posibles incompatibilidades con los horarios de los alumnos. Las actividades con telepresencia se grabarán para que los alumnos puedan acceder a ellas en caso de que no puedan conectarse en línea en el momento en el que estén teniendo lugar.

Las tutorías se atenderán bien de forma individual o bien en grupo mediante el uso de las herramientas Google meet o similar.

Evaluación		
Realización de exámenes	Peso:	0%
Otras actividades de evaluación	Peso:	100%
<p>Dependiendo del número de alumnos, algunas de las actividades siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controles en horario de clase (Calificación: Cc)</li> <li>• Elaboración y presentación de un trabajo sobre temas relacionados con el programa desarrollado (Calificación=Tr)</li> <li>• Entrega de problemas propuestos (Calificación=Pr)</li> </ul>		
Calificación final		
La calificación final será un promedio de las actividades realizadas. $Cf = 0.4 Cc + 0.2 Pr + 0.4 Tr$ .		



## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2020-21)

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

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4	2	0
<b>Horas presenciales</b>	45	28	17	0

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Antonio López Maroto			<b>Dpto:</b>	FT
	<b>Despacho:</b>	14 3ª O	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:maroto@ucm.es">maroto@ucm.es</a>	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
Seminario 3.2	X V	16:00-17:30 13:30-15:00	José Alberto Ruiz Cembranos	Todo el cuatrimestre	19	FT
			Antonio López Maroto	Todo el cuatrimestre	17	FT
			Mindaugas Karciauskas	Todo el cuatrimestre	3	FT

Prácticas - Detalle de horarios y profesorado					
Grupo	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.
<b>A</b>	Laboratorio de Física Computacional	4 sesiones en horario de clase	Mindaugas Karciauskas	6	FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Antonio López Maroto	M, J: 11:00-12:30 (+ 3 h no pr).	<a href="mailto:maroto@ucm.es">maroto@ucm.es</a>	Despacho 14 3ª O
José Alberto Ruiz Cembranos	M, J: 14:00 -15:30 (+3 h no pr.)	<a href="mailto:cembra@ucm.es">cembra@ucm.es</a>	Despacho 17 3ª O

Mindaugas Karciauskas	X: 14:30-17:30	<a href="mailto:mindauka@ucm.es">mindauka@ucm.es</a>	A determinar
-----------------------	----------------	--	--------------

(X no pr.): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, campus virtual,...

### 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.- Problemas del modelo cosmológico estándar.** Planitud, horizontes y origen de la estructura a gran escala.

**3.- Inflación cosmológica.** Conceptos básicos. Modelos con un solo campo (inflatón): Lagrangiano, ecuaciones del movimiento, aproximación de slow-roll, condiciones iniciales, inflación caótica, inflación eterna. Evolución de las escalas durante inflación.

#### 4.- Teoría de perturbaciones cosmológicas

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

**4.2.- 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, radiación y campo escalar.

**4.3.- Evolución de las perturbaciones.** Plasma de bariones-radiación y materia oscura fría. Oscilaciones acústicas (BAO). Silk damping. Función de transferencia y función de crecimiento de las perturbaciones de materia oscura.

**5.- Generación de perturbaciones escalares durante inflación.** Cuantización canónica. Propiedades estadísticas de las perturbaciones gaussianas. Espectro de potencias. Índice espectral e invariancia de escala. Espectro de potencia de materia.

**6.- 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. 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

Las prácticas consistirán en el uso de herramientas de cálculo simbólico dentro de la teoría de perturbaciones cosmológicas

#### 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)

#### Recursos en internet

Campus virtual

Metodología		
<b>Docencia presencial 100% (Escenario 0)</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Clases de teoría y problemas.</li> <li>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.</li> </ul> <p>Se contempla la realización de práctica con ordenador.</p>		
<b>Docencia semi-presencial (Escenario 1)</b>		
<p>Se impartirán las clases en el régimen habitual, asistiendo presencialmente sólo uno de los subgrupos de estudiantes. El resto de estudiantes seguirá la clase a distancia, rotando semanalmente cada subgrupo de forma presencial. Para el seguimiento de la clase a distancia se deberá utilizar la herramienta Collaborate de Moodle, Google Meet o similar, que permita la participación de los estudiantes a distancia, junto con uno o varios de los siguientes métodos: presentación de diapositivas, pizarra electrónica o similar, o clase de pizarra tradicional retransmitida con cámara. El material de algunos de los temas podrá ser grabado previamente y puesto a disposición de los alumnos en el Campus Virtual. En este caso la docencia presencial se dedicará a resolución de problemas, clases prácticas, etc, para cada subgrupo. Las clases se grabarán y las grabaciones y presentaciones se pondrán a disposición de los estudiantes en el Campus Virtual.</p>		
<b>Docencia en línea (Escenario 2)</b>		
<p>Se proporcionará material a través del Campus Virtual con el contenido de los temas y problemas que se desarrollarán a lo largo del curso. Se realizarán sesiones online a través de las herramientas Collaborate o Google Meet o similar, que se anunciarán con la suficiente antelación en el Campus Virtual cuyo objetivo es presentar temas de teoría, así como la resolución de problemas y dudas.</p>		
Evaluación		
<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	60%
El examen consistirá en la resolución de cuestiones teóricas y/o problemas (de nivel similar a los resueltos en clase) (Ex).		
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	40%
Presentación de ejercicios y memoria de prácticas. (Tr)		
Calificación final		
<p>La calificación final será la más alta de las siguientes dos opciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>N_{Final} = 0.6N_{Ex} + 0.4N_{Otras}</math>, donde <math>N_{Ex}</math> y <math>N_{Otras}</math> son (en una escala 0 a 10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores</li> <li>Nota del examen final</li> </ul>		



## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2020-21)

<b>Ficha de la asignatura:</b>	<b>Información Cuántica y Computación Cuántica</b>			<b>Código</b>	606806
<b>Materia:</b>	Información Cuántica	<b>Módulo:</b>	Temas de Física Teórica		
<b>Carácter:</b>	Obligatorio	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	1ª

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4	2	0
<b>Horas presenciales</b>	45	28	17	0

<b>Profesor/a</b>	Miguel A. Martin-Delgado			<b>Dpto:</b>	FT
<b>Coordinador/a:</b>	<b>Despacho:</b>	8 FT, pl 3	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:mardel@miranda.fis.ucm.es">mardel@miranda.fis.ucm.es</a>	

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 Alberto Galindo Angel Rivas Vargas	Tercera parte Primera parte Segunda parte	29 5 11	FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Miguel A. Martin-Delgado	X: 14:00 a 20:00	<a href="mailto:mardel@miranda.fis.ucm.es">mardel@miranda.fis.ucm.es</a>	Desp 8 FT, pl 3
Angel Rivas Vargas	L y X: 15:00-16:30 J: 16:30-19:30	<a href="mailto:anrivas@ucm.es">anrivas@ucm.es</a>	Desp 15 Ft, pl 3

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducir al alumno a las nociones y métodos básicos de la Información y Computación Cuánticas. Medidas de entanglement cuántico. Puertas lógicas.</li> <li>• Teorema de No-Clonación Cuántica. Codificación Densa en Canales Cuánticos.</li> <li>• Teleportación Cuántica y Criptografía Cuántica. Algoritmos Cuánticos de cómputo.</li> <li>• Teorema del umbral de error cuántico. Destilación cuántica de entanglement.</li> <li>• 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 fenómenos no clásicos de luz.</li> </ul>



- Introducción a la teoría de los sistemas de muchos cuerpos que aparecen en sistemas de física atómica: cristales artificiales y sistemas magnéticos efectivos.
- 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, 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

Teoremas de Shannon en información clásica. Información cuántica. Computación cuántica. Criptografía y comunicaciones. Soportes de la información. Estados entrelazados. No localidad y principio de indeterminación. Algoritmos clásicos y cuánticos: paralelismos y diferencias. Errores cuánticos y su corrección. Sistemas con protección topológica. Motivación de la simulación cuántica: física de muchos cuerpos y complejidad, problemas abiertos en el diseño de nuevos materiales. Principios de óptica cuántica aplicados a la simulación cuántica: eliminación adiabática, potenciales y fuerzas ópticas, enfriamiento láser, estados y fenómenos no clásicos de luz. Física de átomos ultrafríos e iones atrapados. Simulación cuántica analógica y digital: diferencias y ventajas de cada una.

### 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 (problemas)
2. Teoría Clásica 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 cuanticos
  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. Extensión de la teoría de operaciones cuánticas o canales
  1. Representaciones de canales cuánticos (Kraus, Stinespring, dinámicas reducidas, Choi-Jamiołkowski, vectorizaciones).
  2. Desigualdades canales-distancias (data processing-inequalities).
  3. Ruido clásico (random unitary channels) y ruido cuántico.
  4. Fidelidad de un canal.
  5. 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. Computación Cuántica con Variables Continuas

### Bibliografía

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

Galindo, A and Martín-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 Vaynshteyn, M. N., *Classical and Quantum Computation*, American Mathematical Society, vol 47, 2002

"Ultracold Atoms in Optical Lattices: Simulating quantum many-body systems"  
M. Lewenstein, A. Sanpera and V. Ahufinger, Oxford University Press, 2012

"Quantum dynamics of single trapped ions"

D. Leibfried, R. Blatt, C. Monroe, and D. Wineland

Rev. Mod. Phys. 75, 281 (2003) – Published March 10, 2003

"Atom-photon interactions: basic processes and applications "

C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc, y Gilbert Grynberg, Wiley-Interscience, 1992.

### Recursos en Internet

Página web del curso:

<http://www.ucm.es/info/qiccucm/>

### Metodología

#### Docencia presencial 100% (Escenario 0)

- 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 impartir seminarios específicos sobre temáticas de actualidad.

#### Docencia semi-presencial (Escenario 1)

Modalidad A el profesor imparte las clases presenciales de modo continuo (sin repetir la clase). Mientras un subgrupo recibe clase presencial en el aula, el otro sigue la clase a distancia. Para el seguimiento de la clase a distancia se utilizará la herramienta Collaborate de Moodle, Google Meet o similar, que permita la participación de los estudiantes a distancia, junto con uno o varios de los siguientes métodos: presentación de diapositivas, pizarra electrónica o similar. Esta es la modalidad más afín a la metodología habitual en el centro.

#### Docencia en línea (Escenario 2)

Clases en remoto (síncronas) mediante la herramienta de videoconferencia Blackboard Collaborate presente en el Campus Virtual. Temario de la asignatura en el Campus Virtual con enlaces a recursos en internet, material docente complemento a las clases. Tutorías mediante videoconferencia.

### Evaluación

#### Realización de exámenes

**Peso:**

30%

Examen final escrito (ver 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 estará 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 2020-21)

<b>Ficha de la asignatura:</b>	<b>Simulación Cuántica</b>			<b>Código</b>	606807
<b>Materia:</b>	Información Cuántica	<b>Módulo:</b>			
<b>Carácter:</b>	Optativo	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	2º

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4	2	0
<b>Horas presenciales</b>	45	28	17	0

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Miguel A. Martín-Delgado			<b>Dpto:</b>	FT
	<b>Despacho:</b>	08 FT, pl 3	<b>e-mail</b>	mardel@miranda.fis.ucm.es	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.
Seminario 3.2	L	16:30-18:00	Miguel A. Martín-Delgado	Mayo	20	FT
	X	13:30-15:00	Luis Lorenzo Sánchez Soto	Febrero	15	Óptica
			Alejandro Bermúdez	Marzo	10	FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Miguel A. Martín-Delgado	X: 14:00 a 20:00	mardel@miranda.fis.ucm.es	Desp 8 FT, pl 3
Luis Lorenzo Sánchez Soto	L: 10:30-12:30h; X: 15:30-17:30 y J: 13:30-15:30h	lsanchez@ucm.es	Desp Óptica
Alejandro Bermúdez	L, X, V: 10:00-11:00	albermud@ucm.es	Desp 9 FT, pl 2

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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 fenómenos no clásicos de luz.</li> <li>• Compresión de los métodos de preparación y manipulación de estados cuánticos: ingeniería de Hamiltonianos, medidas de estados cuánticos y control de interacciones.</li> <li>• Introducción a la teoría de los sistemas de muchos cuerpos que aparecen en sistemas de física atómica: cristales artificiales y sistemas magnéticos efectivos.</li> <li>• Cuantificación de la complejidad de un sistema cuántico y aplicaciones en física de materiales y simulación cuántica con sistemas atómicos.</li> <li>• 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.</li> </ul>

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

Resumen
<p>La simulación cuántica persigue implementar en el laboratorio modelos sofisticados de Física Teórica que suponen problemas abiertos en Materia Condensada y Física de Altas Energías. En la asignatura se mostrará cómo se pueden simular estos modelos, bien sobre un ordenador cuántico universal (simulación digital) o bien mediante el control continuado de sistemas de óptica cuántica (simulación analógica). 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 teórica del simulador (Hamiltonianos efectivos y teoría de perturbaciones, técnicas de resolución de problemas de muchos cuerpos, transiciones de fase, etc). La asignatura proporciona una visión complementaria a la asignatura de Información Cuántica, con un gran énfasis en la implementación física y los últimos desarrollos experimentales.</p>

Programa de la asignatura
<p><b>1 – Introducción: motivación de la simulación cuántica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El desafío de la teoría cuántica de muchos cuerpos.</li> <li>• Nuevas tecnologías de control del mundo microscópico. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas de iones atrapados, redes ópticas de átomos.</li> <li>- Computación cuántica y simulación cuántica digital.</li> <li>- Simulación cuántica analógica: simuladores cuánticos e ingeniería cuántica de materiales.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>2 – Principios de óptica cuántica aplicados a la simulación cuántica.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interacción luz-materia.</li> <li>• Eliminación adiabática de grados de libertad: Hamiltonianos efectivos.</li> <li>• Efectos mecánicos de la interacción luz-materia: potenciales y fuerzas ópticas, principios de atrapamiento de átomos.</li> <li>• Enfriamiento láser.</li> <li>• Preparación y medición de estados cuánticos por medios ópticos.</li> </ul>

### 3 – Átomos Ultrafríos en Redes Ópticas

- Gases atómicos ultrafríos. Bosones (BEC) y fermiones.
- Descripción en términos de tight-binding.
- Modelo de Bose-Hubbard. Aproximación de Gutzwiller. Fases Cuánticas.
- Control de las interacciones entre átomos.
- Modelos cuánticos simulables.

### 4 – Otros sistemas: iones atrapados y átomos de Rydberg

- Física de iones atrapados.
- Control de las interacciones entre spines. Relación con la computación cuántica.
- Física de átomos en estados de Rydberg.
- Interfaces entre átomos de Rydberg y luz.

### 5 – El futuro de la simulación cuántica

- Estados cuánticos exóticos. Orden topológico. Modelo de Kitaev.
- Aplicaciones tecnológicas. diseño de materiales, información cuántica y metrología cuántica. Límite de Heisenberg. Mejoras con entrelazamiento.

#### 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, y Mecánica Cuántica del grado de Físicas.

#### Bibliografía

##### Recursos en Internet

1. *Simulating physics with computers*, R. P. Feynman, Int. J. Theor. Phys. 21, 467 (1982).
2. *Universal Quantum Simulators*, S. Lloyd, Science 273, 1073 (1996).
3. *Quantum simulation*, I. M. Georgescu, S. Ashhab, and Franco Nori, Rev. Mod. Phys. 86, 153 (2014)
4. *Nature Physics Insight: Quantum Simulation*, Nature Physics 8, 263–299 (2012)
5. *Ultracold Atoms in Optical Lattices: Simulating quantum many-body systems*, M. Lewenstein, A. Sanpera, & V. Ahufinger, Oxford Univ. Press (2012).

Página web del curso: <http://www.ucm.es/info/giccucm/>

#### Metodología

##### Docencia presencial 100% (Escenario 0)

- 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.

<p>D) Se estimulará la discusión, el trabajo en grupo y la participación en tutorías.</p> <p>E) Se contempla la invitación de investigadores de reconocido prestigio en temas de la asignatura para para impartir seminarios específicos sobre temáticas de actualidad.</p>
<p><b>Docencia semi-presencial (Escenario 1)</b></p> <p>Modalidad A el profesor imparte las clases presenciales de modo continuo (sin repetir la clase). Mientras un subgrupo recibe clase presencial en el aula, el otro sigue la clase a distancia. Para el seguimiento de la clase a distancia se utilizará la herramienta Collaborate de Moodle, Google Meet o similar, que permita la participación de los estudiantes a distancia, junto con uno o varios de los siguientes métodos: presentación de diapositivas, pizarra electrónica o similar. Esta es la modalidad más afín a la metodología habitual en el centro.</p>
<p><b>Docencia en línea (Escenario 2)</b></p> <p>Clases en remoto (síncronas) mediante la herramienta de videoconferencia Blackboard Collaborate presente en el Campus Virtual. Temario de la asignatura en el Campus Virtual con enlaces a recursos en internet, material docente complemento a las clases. Tutorías mediante videoconferencia.</p>

Evaluación		
<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	30%
Examen final escrito (ver 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.		
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	70%
<p>Las actividades de evaluación continua constarán de, a lo sumo, dos tipos de pruebas:</p> <p>1/ Entrega de ejercicios teóricos o prácticos cuya dificultad estará graduada en tres tipos: B (Baja), M (Media) y A (Alta).</p> <p>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.</p>		
Calificación final		
<p>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.</p> <p>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:</p> <p><math>F = 0.7 C + E</math></p> <p>es decir la calificación final es <math>N = \max\{ C, F \}</math></p>		





## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2020-21)

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

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	12			
<b>Horas presenciales</b>				

<b>Profesor/a</b>	Luis Manuel González Romero			<b>Dpto:</b>	FT
<b>Coordinador/a:</b>	<b>Despacho:</b>	6	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:mgromero@fis.ucm.es">mgromero@fis.ucm.es</a>	

### 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.

### 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.

En caso de que las actividades previstas en el TFM incluyan trabajo experimental en instalaciones de la Facultad o centro externo, éstas deberán realizarse cumpliendo con las medidas de seguridad dictadas por las autoridades sanitarias. Si las condiciones de salud pública impidiesen la realización de dichas actividades presenciales, los tutores deberán adaptar la ficha o plan de trabajo para garantizar la adquisición de competencias cumpliendo con las restricciones sanitarias, informando al alumno de los cambios realizados con tiempo suficiente. Dichas modificaciones serán aprobadas por la Comisión Coordinadora del Máster.

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

### 3. Tabla de horarios.

#### PRIMER SEMESTRE

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

#### SEGUNDO SEMESTRE

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

## 4. Calendario Académico

Periodos de clases y exámenes	
Clases Primer Semestre:	del 28 de septiembre de 2020 al 22 de enero de 2021, ambos inclusive
Exámenes Primer Semestre:	del 25 de enero al 12 de febrero de 2021, ambos inclusive
Entrega de Actas	26 de febrero de 2021
Clases Segundo Semestre:	del 15 de febrero al 28 de mayo del 2021, ambos inclusive
Exámenes Segundo Semestre (mayo-junio):	del 31 de mayo al 17 de junio del 2021, ambos inclusive
Entrega de Actas	25 de junio de 2021
Exámenes Segunda Convocatoria (junio-julio)	del 30 de junio al 20 de julio de 2020
Entrega de Actas	28 de julio de 2021

*Nótese que cada ficha indica el número de horas de que consta la asignatura, por lo que en algunas el final de las clases podría ser anterior al final del periodo lectivo.*

Festividades y días no lectivos	
12 de octubre	Fiesta Nacional
2 de noviembre	Festividad de Todos los Santos trasladada
9 de noviembre	Madrid, festividad de La Almudena
13 de noviembre	San Alberto Magno (trasladado)
7 de diciembre	Día de la Constitución Española trasladada
8 de diciembre	Inmaculada Concepción
29 de enero	Santo Tomás de Aquino (trasladado)
19 de marzo	San José
1 de mayo	Día del Trabajo (sábado)
3 de mayo	Festividad Comunidad de Madrid (trasladado del 2 de mayo)
15 de mayo	Madrid, festividad de San Isidro (sábado)
Del 23 de diciembre al 7 de enero	Vacaciones de Navidad
Del 26 de marzo al 5 de abril	Vacaciones de Semana Santa

*Calendario aprobado por la Comisión Permanente del Consejo de Gobierno de 11 de marzo de 2020 y Junta de Facultad de Ciencias Físicas de 26 de junio de 2020, sin perjuicio de lo que el calendario laboral establezca en relación con los días inhábiles. Los periodos no lectivos han sido establecidos en el calendario de organización docente oficial del curso académico 2019-2020, aprobado por acuerdo del Consejo de Gobierno en su sesión de 28 de enero de 2020 y modificado el 26 de mayo de 2020 (BOUC del 5 de junio del 2020).*

Con este calendario, la distribución de días lectivos por semestre y día de la semana resulta ser el reflejado en la tabla de la derecha.

	L	M	X	J	V	días
<b>S1</b>	11	14	14	14	14	67
<b>S2</b>	13	14	14	14	12	67



## Facultad de Ciencias Físicas Calendario académico del curso 2020-21

(aprobado en la Junta de Facultad del 26-6-2020)



Septiembre							Octubre							Noviembre						
L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
	1	2	3	4	5	6				1	2	3	4							1
7	8	9	10	11	12	13	5	6	7	8	9	10	11	2	3	4	5	6	7	8
14	15	16	17	18	19	20	12	13	14	15	16	17	18	9	10	11	12	13	14	15
21	22	23	24	25	26	27	19	20	21	22	23	24	25	16	17	18	19	20	21	22
28	29	30					26	27	28	29	30	31		23	24	25	26	27	28	29
														30						

  

Diciembre							Enero							Febrero						
L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
	1	2	3	4	5	6					1	2	3	1	2	3	4	5	6	7
7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10	8	9	10	11	12	13	14
14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17	15	16	17	18	19	20	21
21	22	23	24	25	26	27	18	19	20	21	22	23	24	22	23	24	25	26	27	28
28	29	30	31				25	26	27	28	29	30	31							

  

Marzo							Abril							Mayo						
L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
1	2	3	4	5	6	7				1	2	3	4						1	2
8	9	10	11	12	13	14	5	6	7	8	9	10	11	3	4	5	6	7	8	9
15	16	17	18	19	20	21	12	13	14	15	16	17	18	10	11	12	13	14	15	16
22	23	24	25	26	27	28	19	20	21	22	23	24	25	17	18	19	20	21	22	23
29	30	31					26	27	28	29	30			24	25	26	27	28	29	30
														31						

  

Junio							Julio							Agosto						
L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
	1	2	3	4	5	6				1	2	3	4							1
7	8	9	10	11	12	13	5	6	7	8	9	10	11	2	3	4	5	6	7	8
14	15	16	17	18	19	20	12	13	14	15	16	17	18	9	10	11	12	13	14	15
21	22	23	24	25	26	27	19	20	21	22	23	24	25	16	17	18	19	20	21	22
28	29	30					26	27	28	29	30	31		23	24	25	26	27	28	29
														30	31					

  clases semestre 1   
   clases semestre 2   
   parciales de 1º  
  exámenes   
   lectura TFGs   
  entrega de actas   
x no lectivos

Las actas extraordinarias de Prácticas de Master y TFM se entregarán el 21 de septiembre.

[Con algunas fechas de 2021 modificadas tras la publicación de festivos de ese año en el BOCM].

## ANEXO. Enlaces de interés

A continuación, se muestran 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 [www.ucm.es/normativa](http://www.ucm.es/normativa), <https://www.ucm.es/estudiar> y <https://www.ucm.es/grado>.

### 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>

Tribunales de Compensación <https://fisicas.ucm.es/estudios-de-grado>

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>

### 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
1.0	19/07/2020	Primera versión. Pendiente aprobación Junta de Facultad		
1.0	22/07/2020	Aprobada por Junta de Facultad		
1.1	25/10/2020	Cambio calendario 2021	Sección 4	69-70
1.2	24/01/2021	Cambio aulas segundo cuatrimestre	Sección 2	
1.3	17/02/2021	Cambio aula Física de Astropartículas  Cambio horario de clase Complementos de Análisis Matemáticos	Sección 2	20, 30