

Curso

2014-2015

# Guía Docente del Máster en Física Teórica



Facultad de Ciencias Físicas.  
Universidad Complutense de Madrid

---

## Tabla de contenido

1.1.	Estructura general .....	2
1.2.	Materias.....	2
1.3.	Asignaturas .....	2
1.4	. Complementos de Formación .....	3
<b>2.</b>	<b>Fichas de las asignaturas .....</b>	<b>5</b>
	Teorías Gauge de las Interacciones Fundamentales.....	6
	Fenomenología del Modelo Estándar.....	9
	Campos y cuerdas .....	10
	Física de Astropartículas.....	14
	Física Experimental de Partículas y Cosmología.....	18
	Complementos de Análisis Matemático en Física .....	24
	Complementos de Geometría y Teoría de Grupos en Física.....	27
	Métodos de Montecarlo en Física Teórica.....	33
	Sistemas Complejos.....	37
	Relatividad General .....	40
	Física del Modelo Cosmológico Estándar .....	44
	Información Cuántica y Computación Cuántica .....	48
	Simulación Cuántica.....	52
	Trabajo Fin de Máster .....	55
<b>3.-</b>	<b>Cuadros horarios .....</b>	<b>58</b>
<b>4.-</b>	<b>Calendario Académico .....</b>	<b>59</b>

Fecha de actualización: 15/07/2014

## 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 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
	Métodos de Monte Carlo en Física Teórica	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,  
Física Estadística II,  
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, Física Estadística II.

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, Física Estadística II, Simetrías y Grupos en Física, Relatividad General y Gravitación.

## 2. Fichas de las asignaturas



## Máster en Física Teórica (2013-14)

<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>			
<b>Carácter:</b>	Obligatorio	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	1º
<b>Créd. ECTS:</b>	6	<b>Horas presenciales</b>			
		<b>Teoría, prácticas, seminarios</b>		<b>Laboratorio</b>	
		45			

Profesor	T/P/S/L*	Dpto.	e-mail
Antonio Dobado	T/P	FT-I	<a href="mailto:dobado@fis.ucm.es">dobado@fis.ucm.es</a>

\*: T: teoría, P: prácticas, S: seminarios, L: laboratorios

Horarios de clases			Tutorías (lugar y horarios)
Día	Horas	Aula	
X, J	10:00-11:30	8-B	Desp. 231.0 - FTI: X, J 11:30-13:30

Objetivos de la asignatura
Los alumnos deberían obtener los conocimientos en Teorías Cuánticas de Campos Gauge que les permitieran comprender la estructura y propiedades más importantes del Modelo Estándar de las partículas elementales, así como sus principales consecuencias fenomenológicas.

Breve descripción de contenidos
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

- M.E. Peskin, D.V. Schroeder, *An Introduction to Quantum Field Theory*. Addison Wesley 1995.
- L. Álvarez-Gaumé, M. A. Vázquez-Mozo: *An Invitation to Quantum Field Theory* Springer Verlag. 2012.
- T. P. Cheng, L.F. Li. *Gauge Theory of Elementary Particle Physics*, Clarendon Press (Oxford) 1984.
- S. Pokorski, *Gauge Field Theories*, Cambridge University Press 1987.
- D. Bailin, A. Love, *Introduction to Gauge Field Theory*. Cambridge University Press, 1987.
- E. Leader, E. Predazzi. *An Introduction to Gauge Theories and Modern Particle Physics* vols 1,2. Cambridge University Press 1996.
- F. J. Ynduráin, *Relativistic Quantum Mechanics and Introduction to Field Theory*, Springer-Verlag 1996.
- F. J. Ynduráin, *The Theory of quark and gluon interactions*, Springer-Verlag 1999.
- S. Weinberg, *The Quantum Theory of Fields*, vols.I, II. Cambridge University Press 1994, 1995.
- P. Ramond, *Field Theory: A modern Primer*. Addison-Wesley Reading. 1990.
- A. Zee. *Quantum Field Theory in a Nutshell*. Princeton University Press. 2010.
- H. Kleinert, *Path Integrals in Quantum Mechanics, Statistical and Polymer Physics and Financial Markets* World Scientific. Singapore. 2004.

### Recursos en Internet

### Metodología

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

<b>Evaluación</b>		
<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	100%
Se evaluarán problemas y ejercicios propuestos en clase y entregados por el alumno. Se realizará un trabajo sobre un tema de la asignatura que el alumno deberá entregar o presentar públicamente en clase.		
<b>Calificación final</b>		
<i>0.6 Ejercicios + 0.4 Trabajo</i>		

## Máster en Física Teórica (2014-15)

<b>Ficha de la asignatura:</b>	<b>Fenomenología del Modelo Estándar</b>			<b>Código</b>	606795
<b>Materia:</b>	Interacciones Fundamentales	<b>Módulo:</b>			
<b>Carácter:</b>	Optativo	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	2º
<b>Créd. ECTS:</b>	6	<b>Horas presenciales</b>			
		<b>Teoría, prácticas, seminarios</b>		<b>Laboratorio</b>	
		<b>45</b>			

Profesor	T/P/S/L*	Dpto.	e-mail
Ignazio Scimemi José Ramon Peláez	T/P	FT-II	<a href="mailto:ignazios@fis.ucm.es">ignazios@fis.ucm.es</a> <a href="mailto:jrpelaez@fis.ucm.es">jrpelaez@fis.ucm.es</a>

\*: T:teoría, P:prácticas, S:seminarios, L:laboratorios

Horarios de clases			Tutorías (lugar y horarios)
Día	Horas	Aula	
M,V	10:00-11:30	8-B	Prof. Ignazio Scimemi: Ala Oeste 2º Planta. Despacho 11 L:11-12, X-14-16 Prof. José R: Peláez Ala Oeste 2º Planta. Despacho 8 M:11:30-13:00, X:11:00-13:00, J: 10:30-13:00

Objetivos de la asignatura
<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> <li>• Ser capaz de realizar cálculos que describan los ejemplos más relevantes en sistemas físicos de interés en fenomenología de partículas.</li> </ul>



## Máster en Física Teórica (2014-15)

<b>Ficha de la asignatura:</b>	<b>Campos y cuerdas</b>			<b>Código</b>	606796
<b>Materia:</b>	Interacciones Fundamentales	<b>Módulo:</b>			
<b>Carácter:</b>	Optativo	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	2º
<b>Créd. ECTS:</b>	6	<b>Horas presenciales</b>			
		<b>Teoría, prácticas, seminarios</b>		<b>Laboratorio</b>	
		45			

<b>Profesor</b>	T/P/S/L*	<b>Dpto.</b>	<b>e-mail</b>
Carmelo Pérez Martín	T/P/S	FT-I	<a href="mailto:carmelop@fis.ucm.es">carmelop@fis.ucm.es</a>
Fernando Ruiz Ruiz	T/P/S		<a href="mailto:ferruiz@fis.ucm.es">ferruiz@fis.ucm.es</a>

\*: T:teoría, P:prácticas, S:seminarios, L:laboratorios

<b>Horarios de clases</b>			<b>Tutorías (lugar y horarios)</b>
<b>Día</b>	<b>Horas</b>	<b>Aula</b>	
L	13:00-14:30	8-D	J: 09:00 - 13:00
X	11:30-13:00		V: 11:00 - 13:00 en los despachos de los profesores

<b>Objetivos de la asignatura</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entender las restricciones que, en la dinámica y estructura de estados de sistemas cuánticos no relativistas y campos cuánticos, impone la invariancia bajo las transformaciones llamadas supersimétricas, que intercambian grados de libertad bosónicos y fermiónicos.</li> <li>- Aprender las técnicas básicas necesarias para el estudio de sistemas con supersimetría relativista.</li> <li>- Entender las consecuencias de la ruptura de supersimetría en sistemas cuánticos relativistas y no relativistas.</li> <li>- Comprender la formulación de una cuerda en un espacio-tiempo como una teoría de campos en dos dimensiones. Entender las simetrías de estas teorías y sus implicaciones. Comprender las herramientas básicas para su cuantización.</li> </ul>

### Breve descripción de contenidos

- Supersimetría no relativista: El Hamiltoniano supersimétrico, parejas supersimétricas y estados fundamentales; ruptura de supersimetría, índice de Witten, el átomo de Hidrógeno supersimétrico.
- Supersimetría relativista: Espinores con punto y sin punto, el álgebra de Supersimetría y sus representaciones; variables de Grassmann y superspacio; supertraslaciones, supercampos scalar y vector, componentes; transformaciones gauge; el modelo de Wess-Zumino, teorías de Yang-Mills supersimétricas; rupturas espontánea y dinámicas de supersimetría, el MSSM
- La cuerda clásica, sus simetrías de cuerdas y grados de libertad físicos.
- Cuerdas en espacios-tiempos no planos.
- Cuantización de la cuerda en espacios-tiempo sencillos (Minkowski y pp).

### Conocimientos previos necesarios

Los propios de la especialidad de Física fundamental (en algunas universidades también llamada de Física Teórica) de la Licenciatura en Física o del Grado en Física. De manera específica, se necesitan conocimientos de Mecánica cuántica, campos cuántica, Partículas elementales y una base matemática en cálculo, algebra y geometría diferencial.

### Programa de la asignatura

#### I. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS CUÁNTICOS SUPERSIMÉTRICOS

- Tema 1.- Mecánica Cuántica supersimétrica  
El Hamiltoniano supersimétrico. Pares supersimétricos de estados y estados fundamental. Ruptura de supersimetría y el índice de Witten. El átomo de Hidrógeno supersimétrico.
- Tema 2.- Supersimetría relativista, superspacio y supercampos  
Espinores con punto y sin punto. Variables de Grassmann espinoriales. El teorema de Haag-Lopuszanski y Sohnius y el álgebra de supersimetría. Representaciones del álgebra de supersimetría. Superespacio y supertraslaciones. Supercampo escalar. Derivadas supersimétricas. Campos componentes y transformaciones de supersimetría. Supercampo vector y transformaciones gauge. Componentes gauge y el gauge de Wess-Zumino. Variables de Grassmann espinoriales.
- Tema 3.- Modelos supersimétricos  
El modelo de Wess-Zumino: su formulación en términos de supercampos y en términos de componentes. Superpotenciales. Teorías de Yang-Mills supersimétricas en términos de supercampos y en el gauge de Wess-Zumino.

#### Tema 4.-Ruptura de Supersimetría

Ruptura espontánea de Supersimetría: modelos de O'Raifeartaigh y de Fayet-Iliopoulos. El teorema del Goldstino. Ruptura suave y explícita. Modelos de ruptura dinámica de supersimetría. El modelo (3,2).

- Tema 5.- Introducción al MSSM.  
La acción del MSSM y los dos dobletes de Higgs.

## II. INTRODUCCIÓN A LAS CUERDAS Y SU CUANTIZACIÓN

- Tema 6. Partícula clásica.  
Formalismos de primer y segundo orden. Ejemplos: espacio-tiempo de Minkowski, métricas de tipo pp.
- Tema 7. 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. Desarrollo en modos para las coordenadas de la cuerda, el tensor energía-momento y los generadores del álgebra clásica de Virasoro. Gauge  $\eta = \text{diag}(-1, +1)$  y simetría residual.
- Tema 8. Cuerda clásica en un espacio-tiempo no plano.  
Acción de Polyakov para una cuerda en un espacio-tiempo con métrica no plana, 2-forma de Kalb-Rammond y dilatón. Ecuaciones de movimiento y condiciones de contorno. D-branas.
- Tema 8. Cuantización de la cuerda en espacio-tiempo de Minkowski.  
Cuantización en el gauge del cono de luz. Definición del gauge del cono de luz. Acción, lagrangiana y hamiltoniana. Grados de libertad físicos y solución a las ligaduras de Virasoro. Cuantización canónica: relaciones de conmutación. Invariancia Lorentz y  $D=26$ . Espectro: "taquión" y  $D=26$ , spin 1, etc. Cuantización covariante sin fantasmas ("Old covariant approach"). Reglas de conmutación. Condiciones para estados físicos. Anomalía de Virasoro.
- Tema 9. Cuantización de la cuerda supersimétrica en espacio de Minkowski.  
Supersimetría en la hoja del universo de la cuerda y fermiones de Majorana. Ecuaciones de movimiento. Condiciones de contorno y sectores de Ramond y Neveu-Schwarz. Desarrollo en modos. Cuantización y  $D=10$ .

<b>Bibliografía</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- J. Wess and J. Bagger, <i>Supersymmetry and Supergravity</i>, Princeton University Press, 1992.</li> <li>- J. Terning, <i>Modern Supersymmetry</i>, Oxford University Press, 2009.</li> <li>- M. Dine, <i>Supersymmetry and Superstrings</i>, Cambridge University Press, 2007.</li> <li>- A. Wipf, <i>Non-perturbative Methods in Supersymmetric Theories</i>, hep-th/0504180.</li> <li>- M. Dine &amp; J.D. Mason, <i>Supersymmetry and its Dynamical breaking</i>, arXiv:1012.2836 [hep-th] .</li> <li>- M. B. Green, J. H. Schwarz, E. Witten, <i>String theory</i>, vol 1, Cambridge University Press (Cambridge 1987).</li> <li>- J. Polchinski, <i>String theory</i>, vol 1, Cambridge University Press (Cambridge 2000).</li> </ul>
<b>Recursos en internet</b>

<b>Metodología</b>
<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>

<b>Evaluación</b>		
<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	50%
Un examen final consistente en problemas o/y cuestiones que el alumno se lleva a casa.		
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	50%
Cada 15 días, se entregará, a los alumnos, ejercicios, que ellos habrán de resolver y entregar, una semana después, al profesor para su corrección y puntuación.		
<b>Calificación final</b>		
La media aritmética entre la nota obtenida en el examen y la obtenida en las otras actividades.		



## Master en Física Teórica (2014-15)

<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
<b>Créd. ECTS:</b>	6	<b>Horas presenciales</b>			
		<b>Teoría, seminarios y prácticas</b>		<b>Laboratorio</b>	
		<b>42</b>		<b>5</b>	

Profesor	T/P/S/L*	Dpto.	e-mail
Juan Abel Barrio Uña (Coordinador)	T	FAMN	barrio@gae.ucm.es
Marcos López Moya	T		marcos@gae.ucm.es
Fernando Arqueros Martínez	T		arqueros@gae.ucm.es
Jaime Rosado Vélez	L		jaime_ros@fis.ucm.es

\*: T:teoría, P:prácticas, S:seminarios, L:laboratorios

Horarios de clases			Tutorías (lugar y horarios)
Día	Horas	A u l a	
M V	13:00-14:30 11:30-13:00		J.A. Barrio: dpcho 221 3ª planta. Lunes, miércoles: 11:30-13:00 F. Arqueros: dpcho 223 3ª planta M. López: dpcho 221 3ª planta., miércoles 10:00 – 13:00 J. Rosado: dpcho 241 3ª planta. Lunes 10:00 a 13:00

### Objetivos de la asignatura

Adquirir una visión general de la Física de Astropartículas, entendiendo como tal la exploración del Universo usando partículas: fotones de alta energía, rayos cósmicos y neutrinos. Estudiar la información que las medidas de este campo aportan a la Cosmología, Física de Partículas y Astrofísica

### Breve descripción de contenidos

Introducción a la Física de Astropartículas. Métodos de Detección de partículas provenientes del Cosmos. Observación desde Tierra y desde el espacio. Fuentes.

Mecanismos de 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

- Introducción a la Física de Astropartículas  
Perspectiva histórica. Revisión de conceptos previos.
- Detección de partículas  
Interacción de partículas ionizantes con la materia. Fundamentos de detectores de partículas cargadas y rayos gamma.
- Física de rayos cósmicos  
Desarrollo de cascadas atmosféricas. Detectores de rayos cósmicos en tierra y en satélites. Rayos cósmicos de ultra alta energía.
- Astrofísica de Altas Energías  
Detectores de rayos gamma en tierra y en satélites. Experimentos actuales. Perspectivas del campo. Introducción a la astrofísica de rayos X.
- Aceleradores cósmicos  
Mecanismos de aceleración de partículas cargadas. Mecanismos de producción de rayos gamma. Fuentes de rayos gamma.
- Otras partículas de alta energía  
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.

## PRÁCTICAS Y PROBLEMAS DE ORDENADOR

Utilización de software científico para el análisis de los datos tomados por detectores de rayos gamma en satélites y en tierra.

### Bibliografía

#### Básica

- 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

### Recursos en Internet

Campus virtual con enlaces de interés para la asignatura.

### Metodología

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

Las prácticas de laboratorio tendrán lugar en el Laboratorio de Física Atómica y Molecular, y las prácticas y problemas 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.

### 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:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentación, oral y por escrito, de trabajos (Tr)</li> <li>• Realización de prácticas de laboratorio y ordenador (Pr)</li> </ul>		

<b>Calificación final</b>
La calificación final será $Cf = 0.3 Ex + 0.4 Tr + 0.3 Pr$



## Master en Física Teórica (2014-15)

<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
<b>Créd. ECTS:</b>	6	<b>Horas presenciales</b>			
		<b>Teoría y seminarios</b>		<b>Prácticas y Laboratorio</b>	
		<b>40</b>		<b>5</b>	

<b>Profesor</b>	<b>T/P/S/L*</b>	<b>Dpto.</b>	<b>e-mail</b>
Carmen Palomares	T	CIEMAT	<a href="mailto:mc.palomares@ciemat.es">mc.palomares@ciemat.es</a>
Ignacio Sevilla	T	CIEMAT	<a href="mailto:ignacio.sevilla@ciemat.es">ignacio.sevilla@ciemat.es</a>
Jesús Puerta	L	CIEMAT	<a href="mailto:jesus.puerta@ciemat.es">jesus.puerta@ciemat.es</a>
Pablo García Abia	T/P	CIEMAT	<a href="mailto:pablo.garcia@ciemat.es">pablo.garcia@ciemat.es</a>
M. Cruz Fouz	T/P	CIEMAT	<a href="mailto:mcruz.fouz@ciemat.es">mcruz.fouz@ciemat.es</a>
B. de la Cruz	T/P	CIEMAT	<a href="mailto:begona.delacruz@ciemat.es">begona.delacruz@ciemat.es</a>

\*: T:teoría, P:prácticas, S:seminarios, L:laboratorios

<b>Horarios de clases</b>			<b>Tutorías (lugar y horarios)</b>
<b>Día</b>	<b>Horas</b>	<b>Aula</b>	
L	11:30-13:00	8-B	
J	13:00-14:30		

### Objetivos de la asignatura

- Comprender los resultados experimentales básicos en los que se basa el modelo estándar de las interacciones fundamentales y el modelo estándar cosmológico, a través de los datos de diversos experimentos punteros (LHC, DES, Double Chooz) y explicados por investigadores plenamente involucrados en ellos.
- 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.
- Adquirir una metodología de trabajo necesaria para dedicarse a la investigación (realizar una tesis doctoral) en el ámbito mencionado.

### Breve descripción de contenidos

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

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

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

Estudios de Neutrinos: oscilaciones, masas. Neutrinos estériles.

Cosmología: Energía Oscura.

### 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, láseres, 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

Transparencias / prácticas en página Web. Enlaces de interés para la asignatura.  
Páginas Web de los diversos experimentos/Laboratorios

#### Metodología

Sesiones teóricas con medios audiovisuales (proyección transparencias).  
Sesiones prácticas (análisis de sucesos experimentales reales) en sala de ordenadores del CIEMAT (Avda. Complutense 40, a 10 min de Facultad CC. Físicas)  
Sesiones prácticas de laboratorio en el CIEMAT.

Presentaciones de trabajos/prácticas realizados por alumnos.

<b>Evaluación</b>		
<b>Realización de pruebas/trabajos</b>	<b>Peso</b>	80%
<p>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.</p>		
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	20%
<p>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).</p>		
<b>Calificación final</b>		
<p>La calificación final será <math>N_{Final} = 0.8 N(PR) + 0.2 N(TR+OP)</math>, donde <math>N(PR)</math> y <math>N(TR+OP)</math> son (en una escala 0-10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores.</p>		



## Máster en Física Teórica (2014-15)

<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>	Asignaturas			
<b>Carácter:</b>	Obligatorio	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	1º	
<b>Créd. ECTS:</b>	6	<b>Horas presenciales</b>				
		<b>Teoría y seminarios</b>			<b>Prácticas y Laboratorio</b>	
		<b>45</b>			<b>0</b>	

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Luis Martínez Alonso			<b>Dpto:</b>	Física Teórica II
	<b>Despacho:</b>	320	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:luism@fis.ucm.es">luism@fis.ucm.es</a>	

Grupo	Profesor	T/P/S/L*	Dpto.	e-mail
A	Luis Martínez Alonso Francisco Guil Guerrero	T/P T/P	FTII FTII	luism@fis.ucm.es <a href="mailto:fguil@fis.ucm.es">fguil@fis.ucm.es</a>

\*: T:teoría, P:prácticas, S:seminarios, L:laboratorios

Grupo	Horarios de clases			Tutorías (lugar y horarios)
	Día	Horas	Aula	
A	M J	10:00-11:30 11:30-13:00	8-B	LMA: M(13:00-15:00)-X(10:30-12:00, 13:30-15:00)-J (14:00-15:00), despacho 32. FGG: M(11:30-13:00, 14:30-16:00) , J(10:00-11:30, 14:30-16:00), despacho 25.

#### Objetivos de la asignatura

Adquirir las nociones básicas del Análisis Funcional necesarias en Física Clásica y Cuántica. Aprender métodos avanzados para representar y estudiar las soluciones de ecuaciones diferenciales lineales en derivadas parciales.

#### Breve descripción de contenidos

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. Aplicaciones en Electroestática, Mecánica Cuántica y Teoría de Campos.

#### Conocimientos previos necesarios

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

#### Programa de la asignatura

1. Integral de Lebesgue. Espacios funcionales.
2. Espacios de distribuciones. Operaciones con distribuciones
3. Transformada de Fourier de distribuciones
4. Soluciones fundamentales de operadores diferenciales. Funciones de Green.
5. Espacios de Hilbert. Geometría en espacios de Hilbert.
6. Bases ortonormales. Series y transformadas de Fourier.
7. Operadores lineales en espacios de Hilbert. Teoría espectral.
8. Aplicaciones en Electromagnetismo, Mecánica Cuántica y Teoría Cuántica de Campos.

<b>Bibliografía</b>
<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></ul>
<b>Recursos en internet</b>
Campus virtual

<b>Metodología</b>
<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><li>• Exposición de trabajos y/o problemas resueltos por los alumnos</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>

<b>Evaluación</b>
Entrega de problemas propuestos. (Pr) Examen final. (Ex)
<b>Calificación final</b>
La calificación final será $Cf = 0.4 Pr + 0.6 Ex$



## Máster en Física Teórica (2014-2015)

<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>	Asignaturas		
<b>Carácter:</b>	Optativo	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	2º
<b>Créd. ECTS:</b>	6	<b>Horas presenciales</b>			
		<b>Teoría y seminarios</b>		<b>Prácticas y Laboratorio</b>	
		<b>45</b>		<b>0</b>	

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Francisco Javier China Trujillo Luis Javier Garay Elizondo			<b>Dpto:</b>	Física Teórica II
	<b>Despacho:</b>	F.J.C.T.: 31, LJG: 16 FT II (2ª planta oeste)	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:china@fis.ucm.es">china@fis.ucm.es</a> <a href="mailto:luisj.garay@fis.ucm.es">luisj.garay@fis.ucm.es</a>	

Grupo	Profesor	T/P/S/L*	Dpto.	e-mail
A	Francisco Javier China Trujillo Luis Javier Garay Elizondo	T/P	FTII	<a href="mailto:china@fis.ucm.es">china@fis.ucm.es</a> <a href="mailto:luisj.garay@fis.ucm.es">luisj.garay@fis.ucm.es</a>

\*: T:teoría, P:prácticas, S:seminarios, L:laboratorios

Grupo	Horarios de clases			Tutorías (lugar y horarios)
	Día	Horas	Aula	
A	L y J	10:00-11:30	8-B	F.J.C.T. (2º sem.): L y J, 15:30-18:30, en su despacho. LJG: 1er. sem.: X 8:30-11:30; V 8:30-10:00 y 11:30-13:00 2º sem.: L 11:30-14:30; X 8:30-11:30 (Despacho 16, FT-II)

### Objetivos de la asignatura

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.

### Breve descripción de contenidos

Variedades diferenciables, fibrados y conexiones gauge, grupos y álgebras de Lie, teoría de representaciones.

### Conocimientos previos necesarios

Se suponen conocimientos de ecuaciones diferenciales, geometría diferencial y cálculo tensorial y teoría de grupos finitos.

Conocimientos recomendados: electrodinámica, teoría de campos, relatividad general y gravitación

### Programa de la asignatura

#### Geometría diferencial

- Variedades diferenciables. Tensores. Cálculo exterior. Integración
- Grupos de transformaciones
- Fibrados y conexiones gauge. Clases características
- Fibrado de sistemas de referencia. Variedades (pseudo-)riemannianas

#### Teoría de grupos

- Grupos de Lie
- Campos invariantes y álgebra de Lie
- Álgebras semisimples; grupos y álgebras excepcionales
- Representaciones de grupos y álgebras de Lie
- Álgebras de Lie de dimensión infinita

## Bibliografía

Guía Docente del Master en Física Teórica

Curso 2014-2015

Fichas de asignaturas

- Y. Choquet-Bruhat, C. DeWitt-Morette, M. Dillard-Bleick, *Analysis, manifolds and physics*, North Holland, 1991.
  - C.J. Isham, *Modern differential geometry for physicists*, 2<sup>nd</sup> ed., World Scientific, 1999.
  - C. Nash, S. Sen, *Topology and geometry for physicists*, Academic Press, 1983.
  - M. Nakahara, *Geometry, Topology and Physics*, IOP, Bristol, 2003.
  - S. Helgason, *Differential Geometry, Lie Groups and Symmetric Spaces*, AMS, Providence, 2001.
  - S. Sternberg, *Lectures on Differential Geometry*, AMS Chelsea Publishing, 1999.
  - H. Georgi, *Lie Algebras in Particle Physics*, 2<sup>nd</sup> ed., Perseus Books, 1999.
  - B.C. Hall, *Lie Groups, Lie Algebras, and Representations –An Elementary Introduction*, Springer, 2010. (También: *An Elementary Introduction to Groups and Representations*, arXiv: math-ph/0005032v1, 31 May 2000.)
  - J.-P. Serre, *Algèbres de Lie semi-simples complexes*, W.A. Benjamin, 1966.
  - J.E. Humphreys, *Introduction to Lie Algebras and Representation Theory*, Springer, 1980.
  - H. Samelson, *Notes on Lie Algebras*, 2<sup>nd</sup> ed., Springer, 1980.
  - 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)

## Recursos en internet

Campus virtual y página web <http://jacobi.fis.ucm.es/lgaray>

## Metodología

Se desarrollarán las siguientes actividades formativas:

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

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

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

## Evaluación

Entrega de problemas propuestos. Entrega y exposición en clase de un trabajo de fin de curso.



## Máster en Física Teórica (Curso 2014-2015)

<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>			
<b>Carácter:</b>	Optativo	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	2º

	Total	Teoría, Prácticas Seminarios	Laboratorio
<b>Créditos ECTS:</b>	6	6	
<b>Horas presenciales</b>	45	45	

<b>Profesor</b>	Piergiulio Tempesta T/P		<b>Dpto:</b>	FT-II
	<b>Despacho:</b>	30, 2ª O	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:ptempest@ucm.es">ptempest@ucm.es</a>

	Horarios de clases		Tutorías (horarios y lugar)	
	Día	Horas	Aula	
L		15:00 - 16:30	8-B	L:11:00-13:00, 14:00-15:00 M:10:00-12:00 J:12:00-13:00
X		15:00 - 16:30		

### Objetivos de la asignatura

Aprender técnicas matemáticas básicas y avanzadas para el estudio de sistemas dinámicos y modelos integrables relevantes en Física.

### Breve descripción de contenidos

Sistemas dinámicos y teoría del caos, sistemas integrables, ecuaciones de evolución no lineales.

### Conocimientos previos necesarios

Ecuaciones diferenciales ordinarias y en derivadas parciales, geometría diferencial avanzada, teoría de grupos.

### Programa teórico de la asignatura

1. Introducción a la teoría de los sistemas dinámicos. Sistemas dinámicos discretos. Espacios topológicos.
2. Dinámica simbólica, teorema de Sarkovskii. Estabilidad hiperbólica. Difeomorfismos de Morse-Smale. Entropías y sistemas dinámicos. Elementos de teoría del caos.
3. Integrabilidad en mecánica clásica. Geometría de los sistemas integrables y sus propiedades algebraicas. Estructuras hamiltonianas y bi-hamiltonianas. Superintegrabilidad. Ecuaciones integrables y jerarquías integrables.
4. Métodos avanzados para el estudio de ecuaciones de evolución. Simetrías de Lie.

### Bibliografía

- W. De Melo, S. van Strien, *One-dimensional dynamics*, Springer-Verlag, 1993.
- A. Katok, B. Hasselblatt: *Introduction to the Modern Theory of Dynamical Systems*, Cambridge University Press, 1997.
- R. L. Devaney, *An Introduction to Chaotic Dynamical Systems*, The Benjamin/Cummings Publishing Co., 1992.
- P. Glendinning, *Stability, Instability and Chaos*, Cambridge University Press, 1994.
- C. Beck e F. Schlogl, *Thermodynamics of chaotic systems. An introduction*, Cambridge University Press, 1993.
- A. Fasano and S. Marmi, *Analytical Mechanics*, Oxford University Press, 2006.
- P. Libermann and C.-M. Marle, *Symplectic Geometry and Analytical Mechanics*, Kluwer, 1987.
- S. P. Novikov: *Solitons and Geometry*, Published for the Accademia nazionale dei Lincei and the Scuola Normale Superiore - Pisa by the Press Syndicate of the University of Cambridge, 1994.
- M. Nakahara, *Geometry, Topology and Physics*, Bristol, Adam Hilger, 1990.
- P. Olver, *Applications of Lie Groups to Differential Equations*, Springer, 1992.
- Artículos de investigación a determinar durante el curso.

<b>Recursos en Internet</b>
Se utilizará el Campus Virtual.

<b>Metodología</b>
Se desarrollarán las siguientes actividades formativas: Clases de teoría Exposición de trabajos y/o problemas resueltos por los alumnos
Las lecciones de teoría y la resolución de problemas se realizarán 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.

<b>Evaluación</b>		
<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	0%
<b>Otras actividades</b>	<b>Peso:</b>	100%
Presentación, por escrito u oral, de trabajos concertados con el profesor.		
<b>Calificación final</b>		



## Máster en Física Teórica (2014-15)

<b>Ficha de la asignatura:</b>		<b>Métodos de Montecarlo en Física Teórica</b>			<b>Código</b>	606802
<b>Materia:</b>	Métodos Matemáticos y Estadísticos	<b>Módulo:</b>				
<b>Carácter:</b>	Optativo	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	2º	
<b>Créd. ECTS:</b>	6	<b>Horas presenciales</b>				
		<b>Teoría, prácticas, seminarios</b>			<b>Laboratorio</b>	
		<b>23</b>			<b>22</b>	

Profesor	T/P/S/ L*	Dpto.	e-mail
Víctor Martín Mayor Luis Antonio Fernández Pérez	T/P/S T/P/S	FT-I	<a href="mailto:vicmarti@ucm.es">vicmarti@ucm.es</a> , <a href="mailto:lsntnfp@ucm.es">lsntnfp@ucm.es</a>

\*: T:teoría, P:prácticas, S:seminarios, L:laboratorios

Horarios de clases			Tutorías (lugar y horarios)	
Día	Horas	Aula		
M	9:00-10:00	8-B	V.M.M.	L: 14:00-16:00 X:11:30-13:00 y 14:00-16:30
X	9:30-11:30		L. F. P.	L: 15:30-17:30 X: 10:30-13:00 y 14:00-15:30

### Objetivos de la asignatura

Los métodos de Montecarlo dinámicos son una herramienta imprescindible para el estudio de multitud de fenómenos en Física. Son a menudo la única alternativa viable para estudiar problemas que involucran muchos grados de libertad lejos del régimen perturbativo. Ésa es exactamente la situación a la que nos enfrentamos en los problemas de interés en la moderna investigación en Teoría Cuántica de Campos, Física de la Materia Condensada o Mecánica Estadística.

En esta asignatura el estudiante adquirirá una sólida base en la aplicación de los Métodos de Montecarlo. Pese al carácter inicialmente formal de los contenidos, el enfoque será eminentemente práctico, lo que requiere considerar problemas específicos. Para ello, elaboraremos la aplicación de ideas de Teoría Cuántica de Campos a la Física de la Materia Condensada y la Mecánica Estadística. A la inversa, estudiaremos propiedades no perturbativas en Teoría Cuántica de Campos a partir de la analogía Mecánico-Estadística. Plantearemos la integración funcional partiendo de la noción intuitiva de camino aleatorio que se formalizará mediante el concepto de proceso estocástico. Discutiremos la relación con la Mecánica Cuántica (en el caso de una partícula), con la Teoría Cuántica de Campos (muchas partículas) así como con las Ecuaciones Diferenciales Estocásticas. Se adquirirán conocimientos teóricos/prácticos de utilidad en variados contextos que se extienden desde la Econofísica hasta la Física de Altas Energías.

### Breve descripción de contenidos

Teoría de la Probabilidad. Procesos Estocásticos: tiempo discreto (cadenas de Markov y algoritmos de Montecarlo). Aplicaciones: La integral de camino en Mecánica Cuántica y en Teoría Cuántica de Campos, Ecuaciones Diferenciales Estocásticas, Teoría Cuántica de Campos en el Retículo.

### Conocimientos previos necesarios

Además de los propios de la especialidad de Física Fundamental (en particular. Mecánica Cuántica, Teoría de Campos y Mecánica Estadística), será útil la experiencia de programación (que en modo alguno será imprescindible, pues el nivel de exigencia de los trabajos se adecuará a la experiencia previa de los estudiantes). El entorno utilizado será Linux y el lenguaje C.

### Programa de la asignatura

- Teoría de la Probabilidad
- Procesos Estocásticos
  - Cadenas de Markov y el Método de Montecarlo
  - Caminos aleatorios: los procesos de Wiener.
- 3. Aplicaciones:
  - La integral de camino en Mecánica Cuántica y en Teoría Cuántica de Campos.
  - Ecuaciones Diferenciales Estocásticas.
  - Teoría Cuántica de Campos en el Retículo.

### Bibliografía

D.J. Amit & V. Martín Mayor, Field Theory, the Renormalization Group and Critical Phenomena. World-Scientific Singapore, third edition (2005).

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

P.E. Kloeden & E. Platen, Numerical Solution of Stochastic Differential Equations. Springer Verlag (1992).

An Introduction to Stochastic Differential Equations. L. C. Evans. <http://math.berkeley.edu/~evans/SDE.course.pdf>.

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

M. Creutz, Quarks, gluons and lattices, Cambridge University Press (1983).

H.J. Rothe, Lattice Gauge Theories, An Introduction. World-Scientific Singapore, second edition (1997).

The C Programming Language. B. Kernighan & D. M. Ritchie. Prentice Hall. second edition, 1988.

### Recursos en Internet

<http://teorica.fis.ucm.es/TEC/MetodosMC.html>

<b>Metodología</b>	
<p>El curso se dividirá en dos mitades:</p> <p>1) Durante los dos primeros meses se impartirán lecciones de pizarra, con frecuentes entregas de ejercicios. Dichos ejercicios se realizarán en buena parte en el ordenador y tienen un objetivo doble. Por un lado se afianzarán y profundizarán las nociones explicadas en las lecciones. Por otro lado, servirán como introducción a las nociones básicas de programación en C y su aplicación al cálculo científico.</p> <p>2) La segunda mitad de la asignatura se realizará en el Laboratorio de Física Computacional del Departamento. Consistirá en la realización de un proyecto propio (individual o en grupo), adaptado dentro de lo posible al perfil de los estudiantes. En particular, se buscará reproducir (en su totalidad o en parte) algún artículo de investigación publicado durante los últimos 20 años. Aunque el proyecto se desarrollará en buena parte bajo la supervisión de los profesores durante el horario de clase, requerirá esfuerzo adicional independiente. Los recursos de cálculo necesarios serán proporcionados por el Departamento.</p>	

<b>Evaluación</b>		
<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	0%
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	100%
<p>a) Ejercicios realizados durante la primera mitad de la asignatura.</p> <p>b) Proyecto realizado en el Laboratorio de Física Computacional</p>		
<b>Calificación final</b>		
<i>30% Ejercicios + 70% Proyecto</i>		



## Máster en Física Teórica (2014-2015)

<b>Ficha de la asignatura:</b>		<b>Sistemas Complejos</b>		<b>Código</b>	606803
<b>Materia:</b>	Métodos Matemáticos y Estadísticos	<b>Módulo:</b>			
<b>Carácter:</b>	Optativo	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	2º
<b>Créd. ECTS:</b>	6	<b>Horas presenciales</b>			
		<b>Teoría, prácticas, seminarios</b>		<b>Laboratorio</b>	
		45			

Profesor	T/P/S/L*	Dpto.	e-mail
David Gómez-Ullate Oteiza (Coordinador) Juan Manuel Rodríguez Parrondo Armando Relaño Pérez Inmaculada Leyva Calleja	T/P	FT II FAMN FA I URJC	<a href="mailto:armando.relano@gmail.com">armando.relano@gmail.com</a> <a href="mailto:inmaculada.leyva@urjc.es">inmaculada.leyva@urjc.es</a>

\*: T:teoría, P:prácticas, S:seminarios, L:laboratorios

Horarios de clases			Tutorías (lugar y horarios)
Día	Horas	Aula	
M, J	11:30-13:00	8-B	

Objetivos de la asignatura
<p>Conocer las propiedades y el comportamiento de <i>sistemas complejos</i>, entendidos como diferentes sistemas (físicos, biológicos, sociales, etc.) compuestos de la interacción de elementos más simples, cuyo comportamiento global presenta propiedades nuevas que no pueden explicarse a partir de las propiedades de los elementos aislados.</p> <p>Ser capaz de plantear modelos teóricos que describan la dinámica de sistemas complejos en un ámbito interdisciplinar.</p>

Adquirir competencias de computación que permitan simular numéricamente los modelos propuestos, y evaluar de manera crítica los resultados obtenidos de la simulación.

### Breve descripción de contenidos

Dinámica no lineal y sistemas caóticos, Sincronización, Modelización estocástica, Estructura y Dinámica en Redes Complejas, Modelos basados en agentes, Teoría de juegos y dinámica evolutiva, Econofísica.

### Conocimientos previos necesarios

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

### Programa de la asignatura

#### 1. DINÁMICA NO LINEAL

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, epidemiología, etc.

#### 2. MODELIZACIÓN ESTOCÁSTICA

Probabilidad. Cadenas de Markov. Ecuación maestra. Ecuaciones diferenciales estocásticas. Fenómenos inducidos por ruido: motores Brownianos, resonancia estocástica.

#### 3. MODELOS MULTI-AGENTE

Autómatas celulares, Teorías de campo medio. Criticalidad auto-organizada. Comportamientos colectivos en fluidos: *herding*, *flocking*, *swimmers*.

#### 4. REDES COMPLEJAS

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

<b>Bibliografía</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• M. E. J. Newman, Networks: an Introduction, Oxford University Press, 2010.</li> <li>• C. W. Gardiner, Handbook of Stochastic Methods, Springer, 2004.</li> <li>• J. P. Sethna, Entropy, order parameters and complexity, Oxford University Press, 2006.</li> <li>• S. Manrubia, R. Solé, Orden y Caos en Sistemas Complejos, Ediciones UPC 2001.</li> <li>• K. Kaneko, Complex Systems: Chaos and Beyond, A Constructive Approach with Applications in Life Sciences , Springer, 2000.</li> <li>• S.H. Strogatz, Nonlinear dynamics and chaos, Addison-Wesley, 1994.</li> <li>• A. Pikovsky, M. Rosenblum y J. Kurths, Synchronization, a universal concept in nonlinear sciences, Cambridge University Press, 2001.</li> <li>• H.J. Jensen, Self-organized criticality, Cambridge Lectures in Physics, 1998.</li> </ul>	
<b>Recursos en Internet</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Página web de la asignatura: <a href="http://debussy.fis.ucm.es/david/sscc">http://debussy.fis.ucm.es/david/sscc</a></li> <li>2. Grupo de Sistemas complejos URJC: <a href="http://www.complexity.es/">http://www.complexity.es/</a></li> <li>3. Grupo Interdisciplinar de Sistemas Complejos (GISC): <a href="http://valbuena.fis.ucm.es/gisc/">http://valbuena.fis.ucm.es/gisc/</a></li> <li>4. Grupo de Dinamica fuera del equilibrio: <a href="http://www.ucm.es/info/oeqdyn/">http://www.ucm.es/info/oeqdyn/</a></li> </ol>	

<b>Metodología</b>
<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>

<b>Evaluación</b>		
<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	100%
<p>Se evaluarán problemas y ejercicios propuestos en clase y entregados por el alumno. Se realizará un trabajo sobre un tema de la asignatura que el alumno deberá entregar o presentar públicamente en clase.</p>		
<b>Calificación final</b>		



## Máster en Física Teórica (2014-2015)

<b>Ficha de la asignatura:</b>		<b>Relatividad General</b>		<b>Código</b>	606804
<b>Materia:</b>	Cosmología y relatividad general		<b>Módulo:</b>		
<b>Carácter:</b>	Obligatorio	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	1º
<b>Créd. ECTS:</b>	6	<b>Horas presenciales</b>			
		<b>Teoría, prácticas, seminarios</b>		<b>Laboratorio</b>	
		45			

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Luis Javier Garay Elizondo			<b>Dpto:</b>	Física Teórica II
	<b>Despacho:</b>	16	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:luisj.garay@ucm.es">luisj.garay@ucm.es</a>	

Grupo	Profesor	T/P/S/L*	Dpto.	e-mail
A	Luis Javier Garay Elizondo	T/P	FTII	<a href="mailto:luisj.garay@ucm.es">luisj.garay@ucm.es</a>

\*: T:teoría, P:prácticas, S:seminarios, L:laboratorios

Grupo	Horarios de clases			Tutorías (lugar y horarios)
	Día	Horas	Aula	
A	X V	11:30-13:00 10:00-11:30	13	1er. Cuatr.: X 8:30-11:30; V 8:30-10:00 y 11:30-13:00 2º Cuatr.: L 11:30-14:30; X 8:30-11:30 (Despacho 16, FT-II)

### Objetivos de la asignatura

- Adquirir destrezas en las técnicas y conceptos geométricos para describir el espaciotiempo y la interacción gravitatoria.
- Comprensión 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.

### Breve descripción de contenidos

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. Radiación de Hawking
- Formulación hamiltoniana
- 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.
- D. Kramer, H. Stephani, E. Herlt, M. MacCallum y E. Schmutzer, Exact solutions of Einstein's field equations, Cambridge University Press, 1981.
- 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.uoquelfh.ca/poisson/research/agr.pdf>.
- N. Straumann, General relativity with Applications to astrophysics, Springer-Verlag, 2004.
- A. Fabbri, J. Navarro-Salas, Modeling black hole evaporation, World Scientific, 2005.
- R. Wald, Quantum field theory in curved spacetime and black hole thermodynamics, University of Chicago Press, 1994.
- L.J. Garay, Lecture notes: Differential geometry, <https://sites.google.com/site/luisigaray>.
- L.J. Garay, Notas de Relatividad general, <https://sites.google.com/site/luisigaray>.
- L.J. Garay, Notas de Física de agujeros negros, <https://sites.google.com/site/luisigaray>.

### Recursos en internet

Campus virtual, página web <http://jacobi.fis.ucm.es/lgaray>

<b>Metodología</b>
<p>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.</p> <p>En las lecciones de teoría se usará la pizarra aunque podrán ser complementadas con proyecciones con ordenador.</p> <p>Como actividades didácticas adicionales, se incluirá la entrega y corrección de ejercicios y, quizá, de trabajos.</p> <p>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.</p> <p>El profesor recibirá individualmente a los alumnos en el horario especificado de tutorías, con objeto de resolver dudas o ampliar conceptos</p>

<b>Evaluación</b>		
<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	70%
<p>Se realizará un examen final que valore la comprensión y capacidad de aplicación de los conocimientos impartidos. El examen se calificará de 0 a 10.</p> <p>El exámen tendrá una parte de cuestiones teórico-prácticas y otra parte de problemas (de nivel similar a los resueltos en clase).</p>		
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	30%
<p>-Ejercicios entregados a lo largo del curso -Participación en clase, trabajos, ejercicios especiales, etc.</p>		
<b>Calificación final</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si la nota del examen NExamen es menor de 3.5 puntos, la calificación final NFinal será <math>N_{Final} = N_{Examen}</math></li> <li>• Si la nota del examen NExamen es mayor de 3.5 puntos, la calificación final NFinal será <math>N_{Final} = \min(10, N_{Examen} + 0.3N_{OtrasActiv})</math>.</li> </ul>		
<p>NExamen y NOtrasActiv son (en una escala 0-10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores.</p>		



## Máster en Física Teórica (2014-2015)

<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>			
<b>Carácter:</b>	Optativo	<b>Curso:</b>	1	<b>Semestre:</b>	2º
<b>Créd. ECTS:</b>	6	<b>Horas presenciales</b>			
		<b>Teoría y Seminarios</b>		<b>Prácticas y Laboratorio</b>	
		<b>28</b>		<b>17</b>	

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

Grupo	Profesor	T/P/S/L*	Dpto.	e-mail
A	Antonio López Maroto	T/P/L	FT-I	<a href="mailto:maroto@ucm.es">maroto@ucm.es</a>

\*: T:teoría, P:prácticas, S:seminarios, L:laboratorios

Grupo	Horarios de clases			Tutorías (lugar y horarios)
	Día	Horas	Aula	
A	X V	16:30 - 18:00 13:00 - 14:30	8-D	M: 15:00 a 17:00 J y V: 11:00 a 13:00

### Objetivos de la asignatura

- 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.

#### Breve descripción de contenidos

- 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.

#### Programa de Prácticas de Laboratorio

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

El laboratorio consistirá en el uso de herramientas de cálculo simbólico dentro de la teoría de perturbaciones cosmológicas

Fechas: a determinar

Horario: (Horario de la asignatura)

Lugar: Laboratorio de Física Computacional

#### Bibliografía

<ul style="list-style-type: none"> <li>• E.W. Kolb and M.S. Turner, <i>The Early Universe</i>, Addison-Wesley, (1990)</li> <li>• S. Dodelson, <i>Modern Cosmology</i>, Academic Press (2003)</li> <li>• A.R. Liddle and D.H. Lyth, <i>Cosmological Inflation and Large-Scale Structure</i>, Cambridge (2000)</li> <li>• A.R. Liddle, <i>An Introduction to Modern Cosmology</i>, Wiley (2003)</li> <li>• T. Padmanabhan, <i>Theoretical Astrophysics, vols: I, II y III</i>, Cambridge (2000)</li> <li>• S. Weinberg, <i>Cosmology</i>, Oxford (2008)</li> <li>• R. Durrer, <i>The Cosmic Microwave Background</i>, Cambridge (2008)</li> </ul>
<b>Recursos en Internet</b>
Campus virtual

<b>Metodología</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> <li>• Se contempla la realización de práctica con ordenador.</li> </ul>

<b>Evaluación</b>		
<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	60%
El examen podrá consistir en la resolución de cuestiones teóricas y/o problemas (de nivel similar a los resueltos en clase) o en la presentación de un trabajo.		
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	40%
Se contempla la posibilidad de realizar prácticas de laboratorio y de ejercicios.		
<b>Calificación final</b>		
La calificación final será la más alta de las siguientes dos opciones:		
<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 (2014-15)

<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>				
<b>Carácter:</b>	Obligatorio	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	1º	
<b>Créd. ECTS:</b>	6	<b>Horas presenciales</b>				
		<b>Teoría, prácticas, seminarios</b>			<b>Laboratorio</b>	
		45				

Profesores	T/P/S/L*	Dpto.	e-mail
Miguel A. Martin-Delgado Alberto Galindo Angel Rivas	T/P	FTI	<a href="mailto:mardel@miranda.fis.ucm.es">mardel@miranda.fis.ucm.es</a>

\*: T:teoría, P:prácticas, S:seminarios, L:laboratorios

Horarios de clases			Tutorías (lugar y horarios)
Día	Horas	Aula	
M,V	11:30-13:00	8-D	M: 14:00 a 20:00 J: 15:30 a 18:30 Dpto: FTI , D15

Objetivos de la materia
<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> </ul>

- Teleportación Cuántica y Criptografía Cuántica. Algoritmos Cuánticos de cómputo.
- Teorema del umbral de error cuántico. Destilación cuántica de entanglement.
- 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.
- 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.

### Breve descripción de contenidos

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.

### Bibliografía

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

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

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

Physics World, volumen de la revista Marzo 1998.

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

“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/giccucm/>

### Metodología

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

### Evaluación

#### Realización de exámenes

**Peso:**

*Se contempla la posibilidad de hacer un 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:**

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 (2014-15)

<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
<b>Créd. ECTS:</b>	6	<b>Horas presenciales</b>			
		<b>Teoría, prácticas, seminarios</b>		<b>Laboratorio</b>	
		<b>60</b>			

Profesor	T/P/S/L*	Dpto.	e-mail
Luis Lorenzo Markus Muller Juan José García-Ripoll	T/P	FT-I O	<a href="mailto:jj.garcia.ripoll@csic.es">jj.garcia.ripoll@csic.es</a>

\*: T:teoría, P:prácticas, S:seminarios, L:laboratorios

Horarios de clases			Tutorías (lugar y horarios)
Día	Horas	Aula	
L V	16:30-18:00 14:30-16:00		M, J: 14:00 a 16:00

### Objetivos de la asignatura

- 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.
- Comprensión de los métodos de preparación y manipulación de estados cuánticos: ingeniería de Hamiltonianos, medidas de estados cuánticos y control de interacciones.
- Introducción a la teoría de los sistemas de muchos cuerpos que aparecen en sistemas de física atómica: cristales artificiales y sistemas magnéticos efectivos.
- Cuantificación de la complejidad de un sistema cuántico y aplicaciones en física de materiales y simulación cuántica con sistemas atómicos.
- El alumno estará en disposición de entender los avances en el campo de la simulación cuántica, comenzar trabajos de investigación en este campo y entender su impacto y aplicaciones tecnológicas potenciales.

### Breve descripción de contenidos

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. Descripción teórica de modelos de muchos cuerpos: Hamiltoniano de Bose-Hubbard y Hamiltonianos de magnetismo cuántico (Ising, Heisenberg, transformación de Jordan-Wigner). Aplicaciones tecnológicas potenciales de la simulación cuántica: diseño de materiales, procesado cuántico de la información.

### Conocimientos previos necesarios

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.

### Programa de la asignatura

#### 1 – Introducción: motivación de la simulación cuántica

- El desafío de la teoría cuántica de muchos cuerpos.
- Nuevas tecnologías de control del mundo microscópico.
  - Sistemas de iones atrapados, redes ópticas de átomos.
  - Computación cuántica y simulación cuántica digital.
  - Simulación cuántica analógica: simuladores cuánticos e ingeniería cuántica de materiales.

#### 2 – Principios de óptica cuántica aplicados a la simulación cuántica.

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

#### 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.

### **3 – 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.

### **4 – El futuro de la simulación cuántica**

- Estados cuánticos exóticos. Orden topológico. Modelo de Kitaev.
- Aplicaciones tecnológicas. diseño de materiales, información cuántica y metrología cuántica.

#### **Bibliografía**

#### **Recursos en Internet**

Página web del curso:

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

#### **Metodología**

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



## Máster en Física Teórica (2014-15)

<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>	Obligatorio	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	1º y 2º
<b>Créd. ECTS:</b>	12	<b>Horas presenciales con el tutor</b>			
		<b>Elaboración</b>		<b>Seminarios</b>	
		<b>30</b>		<b>25</b>	

Tutor	T/P/S/ L*	Dpto.	e-mail
- El tutor será el asignado por la Comisión Coordinadora del Máster de entre todos los doctores del ámbito de la Física Teórica de la Facultad de Físicas.			

\*: T:teoría, P:prácticas, S:seminarios, L:laboratorios

### Objetivos de la asignatura

Según el Real Decreto 1393/2007 las enseñanzas del Máster se completan con la elaboración y defensa pública del Trabajo Fin de Máster (TFM). El TFM es un elemento formativo esencial que, con una carga de 12 ECTS, exige al alumno una gran dedicación y le permite acreditar la adquisición de los conocimientos y competencias asociados al título mediante el desarrollo de un trabajo académico de revisión o de investigación dirigido por uno o varios profesores con grado de Doctor. Asimismo, el TFM podrá ser dirigido por profesores externos a la UCM, investigadores y profesionales de organismos públicos de investigación del área de las materias consideradas en el máster. En este caso la Comisión Coordinadora del Máster de Física Teórica asignará un tutor de la UCM de TFM a cada uno de los estudiantes cuyo director de TFM sea externo. La oferta de TFM y la asignación definitiva se publicarán en la web del Máster. La Junta de Facultad nombrará un Tribunal de TFM de entre los miembros propuestos por la Comisión Coordinadora del Máster. El tribunal estará compuesto por tres miembros.

### Breve descripción de contenidos

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**

El TFM ha de realizarse de manera individual y con un grado importante de autonomía del alumno. Se proporcionará al alumno un tema de trabajo que estará bien definido, con un método para llegar a resultados académicos o científicos precisos y con unas ciertas garantías de éxito. El director proporcionará la bibliografía, recursos y las orientaciones necesarias para la realización con éxito del trabajo y será responsable de su viabilidad académica y científica.



### 3.- Cuadros horarios

#### PRIMER SEMESTRE

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

#### SEGUNDO SEMESTRE

	L	M	X	J	V
09:00		Metodos de Montecarlo en Física Teórica			
09:30					
10:00	Complementos de Geometría y Teoría de Grupos	Fenomenología Modelo Estandar	Metodos de Montecarlo en Física Teórica	Complementos de Geometría y Teoría de Grupos	Fenomenología Modelo Estandar
10:30					
11:00					
11:30	Física Exp. de Partículas y Cosmología	Física de Astropartículas	Campos y Cuerdas	Sistemas Complejos	Física de Astropartículas
12:00					
12:30					
13:00	Campos y Cuerdas	Sistemas Complejos		Física Exp. de Partículas y Cosmología	Física del Modelo Cosmológico Estandar
13:30					
14:00					
14:30	Modelos Integrables en Física				Simulación Cuántica
15:00					
15:30					
16:00					
16:30	Simulación Cuántica		Física del Modelo Cosmológico Estandar		
17:00					
17:30					

## 4.- Calendario Académico

Periodos de clases y exámenes	
Clases Primer Semestre:	del 29 de septiembre al 19 de diciembre de 2014 y del 8 de enero al 23 de enero de 2015
Exámenes Primer Semestre (febrero):	del 26 de enero al 17 de febrero de 2015
Clases Segundo Semestre:	del 18 de febrero al 26 de marzo de 2015 y del 7 de abril al 5 de junio de 2015
Exámenes Segundo Semestre (junio):	del 8 al 30 de junio de 2015
Exámenes Septiembre	del 1 al 17 de septiembre de 2015

Festividades y días no lectivos	
26? de septiembre	Apertura del curso
1 de noviembre	Día de Todos los Santos
10 de noviembre	Madrid, festividad de La Almudena
14 de noviembre	San Alberto Magno
6 de diciembre	Día de la Constitución Española
8 de diciembre	Festividad Inmaculada Concepción
30 de enero	Santo Tomás de Aquino
Del 22 de diciembre al 7 de enero	Vacaciones de Navidad
Del 27 de marzo al 6 de abril	Vacaciones de Semana Santa
Del 15 de julio al 31 de agosto	Vacaciones de Verano



## UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Calendario Académico del Curso 2014/2015

*Pendiente de comunicar por Rectorado  
fecha de Apertura del curso*

**2014**

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

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

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

**2015**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

¿ 26? Apertura del curso    30 Santo Tomás de Aquino    14 San Alberto Magno

 Periodos de exámenes    style="background-color: #cccccc; width: 20px; display: inline-block;"> Periodos no lectivos    O Fin plazo entrega actas

 Exámenes parciales de 1º Grado en Física

 Tribunales Trabajos Fin de Grado en Física

