

## FICHAS DE LAS ASIGNATURAS

## VARIETADES SEMI-RIEMANNIANAS

## 1.- Datos de la Asignatura

Código	305330	Plan	2016	ECTS	4'5
Carácter	Optativo	Curso	1º	Periodicidad	1 <sup>er</sup> semestre
Área	Geometría y Topología				
Departamento	Matemáticas				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Studium			
	URL de Acceso:	<a href="http://studium.usal.es">studium.usal.es</a>			

## Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Carlos Tejero Prieto	Grupo / s	todos
Departamento	Matemáticas		
Área	Geometría y Topología		
Centro	Facultad de Ciencias		

Despacho	M2329 (Edificio de la Merced)		
Horario de tutorías	De lunes a jueves de 12h a 13h		
URL Web	<a href="https://diarium.usal.es/carlost/">https://diarium.usal.es/carlost/</a>		
E-mail	carlost@usal.es	Teléfono	923 29 44 56

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

### Bloque formativo al que pertenece la materia

Esta asignatura pertenece al módulo común del plan de estudios del Máster.

### Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

Como asignatura del módulo de formación común, los estudiantes del máster pueden completar su formación con el aprendizaje de materias y métodos matemáticos propios de geometría diferencial, muy utilizados en diferentes campos de la Física y la Matemática, como son las variedades semi-riemannianas.

### Perfil profesional.

Investigador

## 3.- Recomendaciones previas

Requisitos previos a nivel de un grado en Física o un grado en Matemáticas. El estudiante debe tener nociones básicas de álgebra lineal, cálculo diferencial en varias variables y ecuaciones diferenciales. Aunque no serán estrictamente necesarios, poseer unos conocimientos básicos de geometría diferencial y/o de geometría riemanniana ayudará a una más rápida asimilación de la materia.

#### 4.- Objetivos de la asignatura

El objetivo general de la asignatura es que el estudiante comprenda los aspectos geométricos fundamentales de las variedades semi-riemannianas de modo que le proporcionen una formación técnica especializada en este campo. Debido al carácter formativo común y multidisciplinar de esta asignatura, otro objetivo será desarrollar las ideas de manera que permitan a cada estudiante comprender mejor o profundizar en las otras asignaturas del máster independientemente de la línea de especialización elegida.

Para la consecución de estos objetivos habrá que tener muy en cuenta los conocimientos previos de geometría diferencial y/o de geometría riemanniana adquiridos por cada estudiante en el grado (Física o Matemáticas) que haya cursado. Por ello se proporcionará, al inicio del curso y para unificar los niveles de formación, una breve introducción de las ideas básicas de la teoría de variedades diferenciables y conexiones afines para, posteriormente, entrar en el objetivo específico de la materia que es formar al estudiante en las técnicas usuales de la Geometría Semi-riemanniana. Por su importancia matemática se particularizará este estudio al caso de las variedades riemannianas y se mostrará cómo el uso de estas técnicas se emplea en el campo de la Relatividad (geometría Lorentziana) así como en otras teorías físicas y matemáticas.

#### 5.- Contenidos

**TEMA I: Aspectos básicos de geometría diferencial:** Variedades diferenciables. Aplicaciones diferenciables. Espacios tangentes y cotangentes en un punto. Aplicación lineal tangente. Campos tensoriales diferenciables y álgebra exterior diferenciable de Cartan. Leyes de derivación covariante. Traslado paralelo asociado a una conexión afín. Torsión y curvatura de una conexión lineal.

**TEMA II: Geometría semi-riemanniana:** Formas bilineales simétricas y grupos semi-ortogonales. Variedades semi-riemannianas y riemannianas. Isometrías y campos Killing. Conexión de Levi-Civita. Traslado paralelo. Geodésicas. Aplicación exponencial. Curvatura seccional. Curvatura escalar y curvatura de Ricci. Espacios de curvatura constante. Isometrías de entornos normales. Campos de Jacobi. Espacios localmente simétricos.

**TEMA III: Subvariedades semi-riemannianas:** Subvariedades de una variedad semi-riemannianas. Inmersiones isométricas. Campos de vectores tangentes y normales con soporte en una subvariedad. Conexión inducida. Geodésicas en subvariedades. Hipersuperficies semi-riemannianas. La ecuación de Codazzi. La conexión normal.

**TEMA IV: Geometría lorentziana:** Espacios vectoriales lorentzianos. Carácter causal de vectores y conos temporales. Variedades de Lorentz. Geometría local lorentziana. Aplicación al estudio de los espacio-tiempos de la Relatividad Especial y de la Relatividad General.

## 6.- Competencias a adquirir

### Básicas/Generales.

Todas la competencias básicas y generales del master: CB6, CB7, CB8, CB9, CB10 y CG1.

### Específicas.

Los estudiantes adquirirán las competencias específicas CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CE-5, CE-6 y CE7 del master. Además deberán:

- Realizar cálculos tensoriales en variedades diferenciables.
- Manejar los resultados básicos de la teoría de variedades semi-riemannianas.
- Determinar explícitamente la conexión de Levi-Civita así como las ecuaciones de traslado paralelo y de las geodésicas asociadas a la misma.
- Computar el tensor de curvatura de la conexión.
- Aprender los resultados básicos de la geometría de subvariedades de una variedad semi-riemanniana.

### Transversales

- Buscar información bibliográfica de forma autónoma.
- Presentar ideas en público con claridad.
- Redactar con precisión y rigor contenidos científicos.

## 7.- Metodologías docentes

En clases magistrales se desarrollará el temario del curso, apoyándose en los libros de referencia. Las clases de problemas permitirán a los estudiantes visualizar y profundizar en los conceptos desarrollados. Tanto las clases de teoría como las de problemas se pretenden hacer participativas.

Durante el cuatrimestre se propondrá a los estudiantes la realización de uno o varios trabajos teórico-prácticos. Estos trabajos serán de carácter individual y evaluables según las directrices que se indican más adelante. Para su resolución el estudiante dispondrá del apoyo profesor.

Existirá un horario de tutorías a disposición de los alumnos donde podrán resolver individualmente sus dudas.

Se hará uso de la plataforma Studium para distribuir material docente, así como medio de comunicación adicional a las clases presenciales.

A estas actividades guiadas por el profesor hay que añadir la importante labor discente del estudiante. Así pues, para la asimilación de los contenidos expuestos y para la adquisición de las competencias, destrezas y habilidades exigidas, cada estudiante deberá dedicar cierto tiempo de trabajo personal.

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

	Horas dirigidas por el profesor	Horas de trabajo personal	HORAS TOTALES
	Horas presenciales.		
Clases de teoría y problemas	30	30	60
Seminarios	8	22.5	32.5
Desarrollo y redacción de trabajos	5	15	20
Tutorías	2		
<b>TOTAL</b>	<b>45</b>	<b>67.5</b>	<b>112.5</b>

## 9.- Recursos

### Libros de consulta para el alumno

#### Bibliografía principal:

B.Y. Chen, Pseudo-Riemannian Geomegtry,  $\delta$ -Invariants and Application, World Scientific Publishing Co., 2011.

J.M. Lee, Introduction to smooth manifolds, Springer, 2013.

S.C. Newman, Semi-Riemannian geometry: the mathematical language of general relativity, John Wiley & Sons, 2019.

B. O'Neill, Semi-Riemannian Geometry with Applications to Relativity, Pure and Appl. Math. 103, Academic Press, 1983.

#### Bibliografía adicional:

J.K. Beem, P.E. Ehrlich y K.L.Easley, Global Lorentzian Geometry, Pure and Appl. Math. 202, Marcel Dekker, 1996.

W.M. Boothby, An Introduction to Differentiable Manifolds and Riemannian Geometry , Pure

Appl. Math. 120, Academic Press, 1986.

R.K. Sachs y H. Wu, General Relativity for Mathematicians, Graduate texts in Maths. , 48, Springer-Verlag, 1977.

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

Se utilizarán también los siguientes recursos:

Biblioteca Abraham Zacut de la Universidad de Salamanca.

Internet: en particular, base de datos MathSciNet, las revistas de acceso electrónico de la USAL y el archivo de preprints ArXiv.org.

## 10.- Evaluación

### Consideraciones Generales

La evaluación de la adquisición de las competencias de la materia se basará fundamentalmente en el trabajo continuado del estudiante. Como control de la evolución del aprendizaje del estudiante se observará la participación activa en las clases y tutorías cuando proceda.

### Criterios de evaluación

La calificación final se ponderará de la siguiente manera

- Trabajos individuales: 70% de la nota final.
- Exposición de trabajos: 30% de la nota final.

Se valorará la precisión, claridad y rigor científico en los trabajos presentados y en su eventual presentación.

#### Instrumentos de evaluación

Durante el cuatrimestre se propondrá a los estudiantes la realización de uno o varios trabajos de carácter individual, que deberán presentarse por escrito. En ellos se podrá pedir completar alguna demostración dada parcialmente en clase, o completar algún tema de los vistos en clase, o el estudio detallado de algún ejemplo, o la resolución de algún ejercicio, entre otros.

Algunos de estos trabajos serán expuestos frente al grupo en sesiones públicas.

Para su calificación se tendrá en cuenta el material presentado (precisión, claridad, etc) así como la organización y claridad en la exposición.

En caso de ser necesaria, para la segunda convocatoria se solicitará la elaboración de un nuevo trabajo que deberá ser expuesto ante el profesor (sesión pública)

#### Recomendaciones para la evaluación.

Para la adquisición de las competencias previstas en esta materia se recomienda seguir las actividades programadas en el desarrollo de la materia.

Para la exposición de trabajos se recomienda la elaboración de un guión y realizar algún ensayo.

#### Recomendaciones para la recuperación.

Revisar las carencias detectadas y hacer uso de las tutorías personales. Valen también las recomendaciones para la primera evaluación.

## FÍSICA ESTADÍSTICA DEL NO-EQUILIBRIO

### 1.- Datos de la Asignatura

Código	305331	Plan	2016	ECTS	4,5
Carácter	Optativa	Curso	1.º	Periodicidad	1.º semestre
Área	Área Física Aplicada y Área Estadística e Investigación Operativa				
Departamento	Departamento de Física Aplicada y Departamento de Estadística				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Studium			
	URL de Acceso:	<a href="http://studium.usal.es">http://studium.usal.es</a>			

### Datos del profesorado

Profesor Coordinador	José Miguel Mateos Roco	Grupo / s	Todos
Departamento	Física Aplicada		
Área	Física Aplicada		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	T3315. Edificio Trilingüe		

Horario de tutorías	Concertado mediante correo electrónico		
URL Web			
E-mail	<a href="mailto:roco@usal.es">roco@usal.es</a>	Teléfono	923 294 500 Ext.: 1504

Profesor Coordinador	Francisco Javier Villaroel Rodríguez	Grupo / s	Todos
Departamento	Estadística		
Área	Estadística e Investigación Operativa		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	Edificio de Ciencias, 1115		
Horario de tutorías	Lunes y Miercoles 13-14		
URL Web			
E-mail	<a href="mailto:javier@usal.es">javier@usal.es</a>	Teléfono	923 294 500 ext 4458

Profesor Coordinador	Juan Antonio White Sánchez	Grupo / s	Todos
Departamento	Física Aplicada		
Área	Física Aplicada		
Centro	Facultad de Geografía e Historia		

Despacho	Edificio Trilingüe. Planta 2ª. Desp. 16 (T3314)		
Horario de tutorías	Martes y miércoles de 12:00 a 14:00, previa cita por correo electrónico.		
URL Web			
E-mail	<a href="mailto:white@usal.es">white@usal.es</a>	Teléfono	923 294 500 ext. 6338

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

Bloque formativo al que pertenece la materia
La asignatura pertenece al módulo “Común”
Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.
Esta asignatura aborda el estudio de la Física de sistemas del no-equilibrio desde el punto de vista de la Mecánica Estadística y la Teoría de Procesos Estocásticos.
Perfil profesional.
Al ser una asignatura del módulo común, es relevante en todos los perfiles profesionales vinculados al Máster.

## 3.- Recomendaciones previas

Son recomendables unos conocimientos previos de Física Estadística a nivel de Grado.

#### 4.- Objetivos de la asignatura

Se pretende con esta asignatura que los estudiantes completen su formación sobre Física Estadística. Más específicamente, los resultados de aprendizaje que se esperan son los siguientes:

1. Conocer los principios físicos necesarios para la descripción de los sistemas del no-equilibrio y saber aplicarlos a casos concretos.
2. Conocer y saber manejar las herramientas necesarias para dicha descripción.

#### 5.- Contenidos

- Ecuación de Liouville y jerarquía Bogoliubov-Born-Green-Kirkwood-Yvon (BBGKY).
- Teoría cinética y ecuación de Boltzmann.
- Funciones de correlación temporal.
- Teoría de respuesta lineal.
- Hidrodinámica y ecuaciones de transporte
- Movimiento browniano, ecuación de Langevin y ecuaciones de Fokker-Planck (para procesos de difusión). Función de correlación.
- Ecuaciones diferenciales estocásticas. Proceso de Ornstein-Uhlenbeck (ruido coloreado).
- Dinámica de poblaciones.
- Simulación de ecuaciones estocásticas.

#### 6.- Competencias a adquirir

Específicas.

CE1, CE2, CE3, CE4, CE5 y CE6

Básicas/Generales.

CB6, CB7, CB9, CB10, CG1 y CG2

### 7.- Metodologías docentes

Clases magistrales: exposición, por parte del profesorado, de los aspectos teóricos de la asignatura.

Clases prácticas de problemas: resolución de problemas encaminados a aumentar la comprensión de la asignatura y a desarrollar sus aspectos prácticos.

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

	Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
	Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales	20		50	70
Prácticas	- En aula			
	- En el laboratorio			
	- En aula de informática			
	- De campo			
	- De visualización (visu)			
Seminarios	10		21,75	31,75
Exposiciones y debates				
Tutorías				
Actividades de seguimiento online				
Preparación de trabajos				
Otras actividades (detallar)				
Exámenes	3,75		7	10,75
<b>TOTAL</b>	<b>33,75</b>		<b>78,75</b>	<b>112,5</b>

## 9.- Recursos

### Libros de consulta para el alumno

- J.-P. Hansen y I.R. McDonald, *Theory of Simple Liquids. 2nd Ed.* Academic Press, Londres (1986).
- K. Huang, *Statistical Mechanics. 2nd Ed.* Wiley, New York (1987).
- L.E. Reichl, *A modern course in Statistical Mechanics. 2nd Ed.* Wiley, New York (1997).
- McQuarrie, D. A. (2000), *Statistical Mechanics.* University Science Books
- Chandler, D. (1987), *Introduction to Modern Statistical Mechanics.* Oxford University Press

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

Material suministrado a través de Studium.

## 10.- Evaluación

### Consideraciones Generales

La evaluación de la asignatura contempla tanto el trabajo diario del estudiante, verificado mediante una evaluación continua, como el aprovechamiento global de la asignatura, que será analizado mediante una prueba final. En un escenario no presencial, las prueba final se realizará de manera asíncrona y consistirá en una entrega de problemas.

**Criterios de evaluación**

Para superar la asignatura el estudiante debe obtener una nota mínima de 5 sobre 10. Los pesos relativos de cada uno de los elementos de evaluación son los siguientes:

Instrumento	Peso mín.	Peso máx.
Participación en actividades presenciales	15	20
Presentación de trabajos	30	50
Prueba final	35	50

**Instrumentos de evaluación**

Participación en actividades presenciales: No se valorará la mera asistencia a las clases, sino que se requerirá la participación activa en ellas.

Presentación de trabajos: Los estudiantes realizarán uno o más trabajos que serán expuestos ante todo el grupo durante el curso.

Prueba final: Se realizará en las fechas propuestas en la planificación docente y tendrá una duración de unas tres horas.

**Recomendaciones para la evaluación.**

Se recomienda la asistencia y participación activa en las clases. También se recomienda llevar la asignatura al día y utilizar las tutorías siempre que sea necesario.

**Recomendaciones para la recuperación.**

Sólo es recuperable la parte de la calificación correspondiente al examen final, manteniéndose la nota de la evaluación continua (participación y trabajos).

## HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y CÁLCULO NUMÉRICO

### 1.- Datos de la Asignatura

Código	305332	Plan	2015	ECTS	4,5
Carácter	OB	Curso	1º	Periodicidad	1.º semestre
Área	Estadística e Investigación Operativa/Matemática aplicada				
Departamento	Estadística/Matemática aplicada				
Plataforma Virtual	Plataforma:	studium			
	URL de Acceso:	<a href="http://studium.usal.es">http://studium.usal.es</a>			

### Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Juan Manuel Rodríguez Díaz	Grupo / s	
Departamento	Estadística		
Área	Estadística e Investigación Operativa		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	Edificio de Ciencias, Planta 0. Despacho 1102		
Horario de tutorías			

URL Web			
E-mail	<a href="mailto:juanmrod@usal.es">juanmrod@usal.es</a>	Teléfono	923294500, ext. 6992

Profesor	Francisco Javier Villarroel Rodríguez	Grupo / s	
Departamento	Estadística		
Área	Estadística e Investigación Operativa		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	Facultad de Ciencias, Planta 0. Despacho 1511		
Horario de tutorías			
URL Web			
E-mail	<a href="mailto:javier@usal.es">javier@usal.es</a>	Teléfono	923294500, ext. 4458, 6996

Profesor	Jesús Vigo Aguiar	Grupo / s	
Departamento	Matemática Aplicada		
Área	Matemática Aplicada		
Centro	Facultad de Ciencias		

Despacho	Facultad de Ciencias Casas del Parque, Planta 0, Despacho 5		
Horario de tutorías			
URL Web			
E-mail	<a href="mailto:jvigo@usal.es">jvigo@usal.es</a>	Teléfono	923294500, ext.1537

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

Bloque formativo al que pertenece la materia

La asignatura pertenece al módulo “Común”

Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

Al ser una asignatura del módulo común, es relevante en todos los perfiles profesionales vinculados al Máster.

Perfil profesional.

Al ser una asignatura del módulo común, es relevante en todos los perfiles profesionales vinculados al Máster.

## 3.- Recomendaciones previas

--

#### 4.- Objetivos de la asignatura

Se pretende con esta asignatura que los estudiantes completen su formación sobre métodos de la Probabilidad, Estadística y computación en Física. Más específicamente,  
Conocer el manejo de distribuciones de probabilidad y sus aplicaciones a la Física cuántica y AstroFísica  
Saber manejar e interpretar datos Estadísticos en Física  
Conocer métodos de resolución numérica de problema en Física y de computación  
Conocer y saber manejar las herramientas necesarias para dicha descripción

#### 5.- Contenidos

Distribuciones de probabilidad discretas: Binomial y Poisson. Problemas de contaje y su manejo.  
Distribuciones de probabilidad continuas de la Física; funciones densidad: Normal, exponencial, Maxwell.  
Desviaciones típicas y sigmas.  
Método de la máxima verosimilitud.  
Estimación de medias y varianzas. Intervalos de confianza.  
Test de Hipótesis  
Introducción a los problemas de E.D.O. y E.D.P. Aproximación numérica.  
Aproximación Numérica mediante Diferencias Finitas.

**6.- Competencias a adquirir**

Transversales.

Específicas.
CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6 y CE7

Básicas/Generales.
CB6, CB7, CB9, CB10, CG1 y CG2

**7.- Metodologías docentes**

Clases magistrales: exposición, por parte del profesorado, de los aspectos teóricos de la asignatura.

Clases prácticas de problemas: resolución de problemas, manejo de software estadístico y numérico.

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

	Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
	Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales	20		50	70
Prácticas	En aula			
	En el laboratorio			
	En aula de informática			
	De campo			
	De visualización (visu)			
Seminarios	10		21,75	31,75
Exposiciones y debates				
Tutorías				
Actividades de seguimiento online				
Preparación de trabajos				
Otras actividades (detallar)				
Exámenes	3,75		7	10,75
<b>TOTAL</b>	<b>33,75</b>		<b>78,75</b>	<b>112,5</b>

## 9.- Recursos

## Libros de consulta para el alumno

WALPOLE, MYERS and MYERS (1999): "Probabilidad y Estadística para Ingenieros". Prentice Hall.

PEÑA SÁNCHEZ DE RIVERA (1995): "Estadística. Modelos y métodos" (Vol. I y II).

Alianza Universidad Textos.

Kindcaid Y Chenay Métodos Numéricos. Addison Wisley.

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

Material proporcionado por los profesores en la plataforma Studium.

## 10.- Evaluación

### Consideraciones Generales

### Criterios de evaluación

Instrumento	Peso mín.	Peso máx.
Participación en actividades presenciales	10	30
Presentación de trabajos	35	50
Prueba final	35	50

### Instrumentos de evaluación

Prueba final: Se realizará en las fechas propuestas en la planificación docente y tendrá una duración de unas tres horas. Se podrá sustituir por la realización de trabajos personalizados cuando el número de alumnos lo permita.

Presentación de trabajos.

Participación en actividades presenciales. Se requerirá la participación activa en las clases. La parte de análisis numérico se evaluará en función de las prácticas presentadas.

**Recomendaciones para la evaluación.**

Se recomienda la asistencia y participación activa en las clases. También se recomienda el uso de las tutorías siempre que sea necesario

**Recomendaciones para la recuperación.**

## RESOLUCIÓN DE ECUACIONES DE LA FÍSICA

## 1.- Datos de la Asignatura

Código	305333	Plan	2013	ECTS	4,5
Carácter	Obligatorio	Curso	1º	Periodicidad	1.º semestre
Área	Física Teórica				
Departamento	Física Fundamental				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Studium			
	URL de Acceso:				

## Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Manuel Pino	Grupo / s	
Departamento	Física Fundamental		
Área	Física Teórica		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	Seminario III, edificio Departamento de Matemáticas, MT2321		
Horario de tutorías	Concertar cita por mail		

URL Web	<a href="https://lbt.usal.es/staff-member/manuel-pino-garcia/">https://lbt.usal.es/staff-member/manuel-pino-garcia/</a>		
manuelpino@usal.es	<a href="mailto:manuelpino@usal.es">manuelpino@usal.es</a>	Teléfono	923294500, ext.1637

Profesor	Mario Amado Montero	Grupo / s	
Departamento	Física Fundamental		
Área	Física Teórica		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	3346. Edificio Trilingue		
Horario de tutorías	Concertar cita por mail		
URL Web			
E-mail	<a href="mailto:mario.amado@usal.es">mario.amado@usal.es</a>	Teléfono	923294500, ext.1317

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

Bloque formativo al que pertenece la materia

Módulo I: Formación común

Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

Adquirir un dominio en materias y técnicas de gran interés para completar su formación como investigador

Perfil profesional.

## 3.- Recomendaciones previas

Es necesario tener conocimientos de ecuaciones diferenciales ordinarias al nivel del Grado en Física. Es necesario tener nociones en lenguajes de programación orientados a objetos, competencias ordinarias al nivel del Grado en Física.

## 4.- Objetivos de la asignatura

Saber aplicar los métodos de resolución de las ecuaciones en derivadas parciales relacionadas con problemas físicos

## 5.- Contenidos

### Tema I: Introducción a las Ecuaciones en Derivadas Parciales (EDPs)

- Clasificación de las EDPs.
- Forma canónica.
- Fórmula de D'Alembert y teorema de Cauchy.

### Tema II: Introducción a la resolución numérica de EDPs

1. Introducción a programación numérica en Python.
2. Programación orientada a objetos y uso de librerías de cálculo científico.
3. Diferencias finitas.
4. Soluciones iterativas.
5. Algoritmo de Thomas.
6. Ecuaciones diferenciales ordinarias.
7. Diagonalización.
8. Método de la matriz de transferencia.

### Tema III: Problemas de difusión. Ecuación del calor y otras ecuaciones parabólicas.

- Experimento de flujo de calor. Condiciones iniciales para la Eq. del calor. Unicidad.
- Método de separación de variables en la Eq. del calor homogénea.
- Condiciones de contorno no homogéneas.
- Eq. del calor con términos lineales en  $U$  y  $U_x$ .
- Problema de Sturm-Liouville y expansión de las autofunciones.
- Resolución de EDPs no homogéneas por expansión de autofunciones.
- Resolución numérica y su estabilidad.

**Tema IV: Transformadas integrales.**

- Transformada de Fourier seno y coseno.
- Transformada integral y series de Fourier.
- Transformada de Fourier en grupos.
- Transformada de Laplace.
- Principio de Duhamel.
- Problemas de contorno para ecuaciones de difusión.

**Tema V: Problemas hiperbólicos.**

- Condiciones de contorno de la Eq. de ondas.
- Ecuación de ondas en dos y tres dimensiones. Modos normales de oscilación. Resonancia.
- Separación de variables en ecuaciones no homogéneas.
- Método de la energía. Unicidad.
- EDP de 4º orden. Caso de la viga vibrante.
- Eq. de ondas en coordenadas polares.
- Resolución numérica y su estabilidad.
- Ecuaciones no lineales. Solitones.

**Tema VI: Problemas elípticos.**

- Propiedades básicas de los problemas elípticos.
- Principio del máximo.
- Identidades de Green.
- Separación de variables en problemas elípticos.
- Ecuaciones de Poisson y Laplace: problemas de contorno para ecuaciones elípticas.
- Fórmula de Poisson.

- Resolución numérica. Problemas variacionales

### Tema VII: Funciones de Green y problemas no homogéneos.

- Problema de valores iniciales en funciones de Green.
- Condiciones de contorno en funciones de Green.
- Eq. del calor no homogénea.
- Funciones de Green 1D y Eq. de Poisson 2D.
- Resolución de problemas de Dirichlet mediante mapas conformes.
- Funciones de Green y mapas conformes.
- Funciones de Neumann.

### 6.- Competencias a adquirir

#### Básicas/Generales.

CB6, CB7, CB8, CB9, CB10

#### Específicas.

CE1, CE2, CE3, CE4, CE5 y CE6

#### Transversales.

### 7.- Metodologías docentes

La asignatura se impartirá a través de clases magistrales teórico prácticas con problemas subidos a la plataforma STUDIUM haciendo especial hincapié en la resolución de ecuaciones en derivadas parciales haciendo uso del lenguaje de programación orientado a objetos Python.

#### 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

	Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
	Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales	15		15	30
Prácticas	En aula	20	35	55
	En el laboratorio			
	En aula de informática			
	De campo			
De visualización (visu)				
Seminarios				
Exposiciones y debates	5		3,5	8,5
Tutorías	3			3
Actividades de seguimiento online				
Preparación de trabajos	2		15,5	17,5
Otras actividades (detallar)				
Exámenes				
<b>TOTAL</b>	<b>45</b>		<b>73,5</b>	<b>114</b>

## 9.- Recursos

### Libros de consulta para el alumno

**Farlow S. J.** *Partial differential equations for scientists and engineers.* Dover. (1982)

**Jordan D.W. and Smith P.** *Nonlinear Ordinary Differential Equations* Clarendon Press. Oxford. (1989)

**Tabor M.** *Chaos and integrability in nonlinear dynamics.* Cambridge University Press. (1989)

**Ince E. L.** *Ordinary Differential Equations.* Dover. (1956)

**Davis H.** *Nonlinear Differential and Integral Equations.* Dover. (1992)

**Martin R.M.** *Electronic structure: Basic Theory and Practical Methods.* Cambridge University Press (2004).

**Kohanoff J.** *Electronic Structure Calculations for Solids and Molecules. Theory and Computational Methods* Cambridge University Press (2006).

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

Las que se vayan subiendo a studium

## 10.- Evaluación

### Consideraciones Generales

Se valorará el aprendizaje continuo. El 100% de la nota se obtendrá a través de evaluación continua por medio de entregas de problemas a resolver de manera analítica o haciendo uso de programas desarrollados en Python y de una exposición oral de un trabajo final a concretar con los profesores al principio del curso.

### Criterios de evaluación

Entrega de ejercicios 70%

Exposiciones orales 30%

#### Instrumentos de evaluación

Participación activa en las actividades presenciales

Realización y entrega de ejercicios

Exposición y defensa oral de problemas

Exposición y defensa oral de un trabajo extenso.

#### Recomendaciones para la evaluación.

Trabajar de forma continuada y acudir a tutoría (tanto presenciales como online)

#### Recomendaciones para la recuperación.

## CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES Y DISPOSITIVOS

### 1.- Datos de la Asignatura

Código	305334	Plan	2013	ECTS	4,5
Carácter	Optativo	Curso	1º	Periodicidad	2º semestre
Área	Electrónica y Electromagnetismo				
Departamento	Física Aplicada				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Studium			
	URL de Acceso:				

### Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Jesús Enrique Velázquez Pérez	Grupo / s	
Departamento	Física Aplicada		
Área	Electrónica		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	T2101 (Edificio Trilingüe)		
Horario de tutorías	Se especificará al inicio del curso		

URL Web			
E-mail	<a href="mailto:js@usal.es">js@usal.es</a>	Teléfono	923294500, ext.6331

Profesor Coordinador	Yahya Moubarak Meziani	Grupo / s	
Departamento	Física Aplicada		
Área	Electrónica		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	T2101 (Edificio Trilingüe)		
Horario de tutorías	Se especificará al inicio del curso		
URL Web			
E-mail	<a href="mailto:meziani@usal.es">meziani@usal.es</a>	Teléfono	923294500, ext.6331

Profesor Coordinador	Víctor Raposo Funcia	Grupo / s	
Departamento	Física Aplicada		
Área	Electromagnetismo		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	T3310 (Edificio Trilingüe)		
Horario de tutorías	Se especificará al inicio del curso		

URL Web			
E-mail	<a href="mailto:victor@usal.es">victor@usal.es</a>	Teléfono	923294500, ext.6326

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

### Bloque formativo al que pertenece la materia

La asignatura forma parte del Módulo II “Física Aplicada”.

### Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

El objetivo global del Módulo es que el estudiante pueda adquirir un dominio en materias del campo de la Física Aplicada como son el estudio de los nuevos materiales, sus implicaciones tecnológicas y la conversión energética. La asignatura está orientada a proporcionar conocimientos dentro de varios campos de la medida y experimentación en materiales y dispositivos semiconductores.

### Perfil profesional.

Materiales, Investigación, Energía, Telecomunicaciones, Electrónica, Física Nuclear, ...

### 3.- Recomendaciones previas

Para cursar esta asignatura es necesario tener conocimientos de las materias Electromagnetismo y Electrónica al nivel de las asignaturas correspondientes en el grado en Física

### 4.- Objetivos de la asignatura

Identificar los aspectos fundamentales en el proceso de diseño y preparación de experimentos avanzados.

Aprendizaje de lenguajes de programación para la automatización de experimentos.

Manejar diversos instrumentos y técnicas para medidas específicas de alta precisión: amplificadores lock-in, puente de impedancias, osciloscopio digital, analizador de redes, etc.

Llevar a cabo el control automatizado de experimentos mediante software

### 5.- Contenidos

Adquisición de datos y tratamiento de señal.

Automatización de procesos de medida.

Caracterización de dispositivos electrónicos.

Medidas de diversas propiedades eléctricas y magnéticas

## 6.- Competencias a adquirir

### Básicas/Generales

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. Los estudiantes sabrán 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. Los estudiantes serán 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. Los estudiantes sabrán 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. Los estudiantes poseerán las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

CG1. Los estudiantes se familiarizarán con los diversos aspectos involucrados en la investigación, tales como: trabajo teórico; consulta de bibliografía, revistas y bases de datos especializadas; redacción de trabajos de investigación; comunicación, exposición, debate y publicación de resultados

### Específicas

CE3: Capacidad para iniciarse en tareas de investigación interdisciplinar en Física y Matemáticas

CE4. Poseer conocimientos físicos y matemáticos avanzados que permitan cursar un Programa de Doctorado y realizar una tesis doctoral, desarrollando para ello la comprensión de los conceptos.

CE5. Capacidad para incorporarse a grupos de investigación e I+D+i en Física y Matemáticas a través de la interacción con los grupos de la Universidad de Salamanca especializados en dichos campos.

CE6. Capacidad para contribuir a las aplicaciones de la Física y las Matemáticas en empresas de innovación tecnológica.

CE7. Profundizar en un tema de investigación y conocer los avances más recientes en alguna de las actuales líneas de investigación en el ámbito de la Física y las Matemáticas.

Los estudiantes adquirirán conocimientos para plantear y realizar experimentos y medidas físicas de carácter avanzado

Transversales

## 7.- Metodologías docentes

Clases magistrales. Se dedicarán a la exposición de los aspectos teóricos de la materia: tratamiento de señal, toma de datos, automatización de medida, ...

Prácticas de laboratorio y simulaciones. Se dedicarán a diseñar experimentos, detallar las condiciones del entorno en las que se realiza la medida y que pueden interferir con ésta y, finalmente, realizar la medida, analizar los resultados obtenidos y medir diversas magnitudes usando equipamiento profesional. Se simularán componentes electrónicos básicos para obtener su respuesta en los dominios del tiempo y de la frecuencia.

Informes. Los alumnos elaborarán informes tras completar sus sesiones de trabajo.

### 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

	Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
	Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales	20		6	26
Prácticas	En aula			
	En el laboratorio	28	26	54
	En aula de informática	6	4	10
	De campo			
	De visualización (visu)			
Seminarios				
Exposiciones y debates				
Tutorías				
Actividades de seguimiento online				
Preparación de trabajos				
Otras actividades (detallar)				
Exámenes	2,25		20,25	22,5
<b>TOTAL</b>	<b>56,25</b>		<b>56,25</b>	<b>112,5</b>

## 9.- Recursos

### Libros de consulta para el alumno

1. Introduction to Electrodynamics (4th Edition), David J. Griffiths, Prentice Hall, 2005
2. Electronic measurement systems : theory and practice (4th Edition), A. F. P. Van Putten; Anton F. P. Van Putten, Institute of Physics Publishing, Bristol, 1996
3. Miguel A. Pérez García et al. Instrumentación electrónica, Thomson, D.L., Madrid, 2011
4. Amplitude Modulated Signals - The Lock-in Amplifier”. Handbook of Measuring System Design. Richard Burdett, AddisonWiley, 2005. ISBN 978-0-470-02143-9
5. OrCAD PSpice para Windows. Vol. II, Dispositivos, circuitos y amplificadores operacionales, R.W. Goody, Pearson, 2003

### Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

- Impedance Measurement Handbook (A guide to measurement technology and techniques), 4<sup>th</sup> Edition, Agilent, <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5950-3000.pdf>
- About Lok-in amplifiers. Application note from Stanford Research Systems: <http://www.thinksrs.com/downloads/PDFs/ApplicationNotes/AboutLIAs.pdf>
- Manual of DSP Lock-In Amplifier model SR830: <http://www.ece.cmu.edu/~mems/resources/HH1212/SR830m.pdf>

**10.- Evaluación****Consideraciones Generales**

La evaluación estará basada en medir el grado de adquisición de las competencias propias de la asignatura, tanto de carácter teórico como práctico.

**Criterios de evaluación**

El principal criterio de evaluación será el rigor y aprovechamiento del trabajo en laboratorio que constituye la base de la asignatura.

Los instrumentos de evaluación sirven como guía para apreciar el avance en la adquisición de competencias por parte de los estudiantes.

**Instrumentos de evaluación**

Para la evaluación se considerarán:

- Participación y ejecución de las prácticas de laboratorio y simulación (30%)
- Informes de las prácticas y simulaciones con los ejercicios propuestos, incluyendo la presentación de forma oral con preguntas por parte de los profesores: 70%.

**Recomendaciones para la evaluación.**

- Estudio y seguimiento de la materia desde el primer día de actividad docente.
- Asistencia y actitud participativa en las clases magistrales.
- Asistencia y actitud participativa en la realización de las prácticas de laboratorio.

- Rigor en el análisis de medidas, resolución de problemas y en la elaboración de informes.
- Claridad y capacidad de síntesis en la presentación.

#### Recomendaciones para la recuperación.

De los instrumentos de evaluación se podrán recuperar los siguientes:

- Informes de las prácticas y simulaciones con los ejercicios propuestos, incluyendo la presentación de forma oral con preguntas por parte de los profesores: 70%.

## CONVERTIDORES ENERGÉTICOS EFICIENTES Y SOSTENIBLES

### 1.- Datos de la Asignatura

Código	305335	Plan	2015	ECTS	4,5
Carácter	Optativa	Curso	1.º	Periodicidad	1.º semestre
Área	Área Física Aplicada				
Departamento	Departamento de Física Aplicada				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Studium			
	URL de Acceso:	<a href="http://studium.usal.es">http://studium.usal.es</a>			

### Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Alejandro Medina Domínguez	Grupo / s	Todos
Departamento	Física Aplicada		
Área	Física Aplicada		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	Edificio Trilingüe, 2.ª planta, despacho 17		

Horario de tutorías	L-V, 11-13 h		
URL Web			
E-mail	<a href="mailto:amd385@usal.es">amd385@usal.es</a>	Teléfono	677 565486

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

### Bloque formativo al que pertenece la materia

La asignatura es una optativa perteneciente al módulo de Física Aplicada.

### Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

La asignatura pretende familiarizar al estudiante con la modelización de algunos convertidores energéticos asociados a la generación de energía eléctrica y al transporte.

### Perfil profesional.

Es una asignatura relevante dentro del perfil de Física Aplicada que ofrece el Máster.

## 3.- Recomendaciones previas

Son recomendables unos conocimientos previos de Termodinámica y cursar la asignatura junto a *Fundamentos de Optimización Termodinámica*.

#### 4.- Objetivos de la asignatura

- Comprender las bases termodinámicas del funcionamiento de los convertidores energéticos.
- Aplicar las leyes de la Termodinámica para determinar los regímenes de funcionamiento eficiente y sostenible de varios tipos de convertidores energéticos.
- Modelizar y simular diversos tipos de convertidores reales.

#### 5.- Contenidos

- Motores de combustión interna
  - Características generales y tipología
  - Fundamentos de combustión
  - Termoquímica de la combustión
  - Combustibles y emisiones
  - Modelización termodinámica
  - Modelos de simulación numérica
- Plantas de potencia de gas y vapor
  - Plantas de potencia tipo Brayton
  - Plantas Rankine y de ciclo combinado
  - Modelización y optimización termodinámica
- Plantas termosolares
  - Tipos y características generales
  - Modelización y optimización termodinámica

--

## 6.- Competencias a adquirir

Específicas.
CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6
Básicas/Generales.
CG1, CB6, CB7, CB8, CB9, CB10

## 7.- Metodologías docentes

- Clases magistrales: exposición, por parte del profesorado, de los aspectos teóricos de la asignatura.
- Clases prácticas de problemas: resolución de problemas encaminados a aumentar la comprensión de la asignatura y a desarrollar sus aspectos prácticos.
- Utilización de *software* para análisis y modelización.

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

		Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
		Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales		20		50	70
Prácticas	- En aula				
	- En el laboratorio				
	- En aula de informática				
	- De campo				
	- De visualización (visu)				
Seminarios		10		21,75	31,75
Exposiciones y debates					
Tutorías					
Actividades de seguimiento online					
Preparación de trabajos					
Otras actividades (detallar)					
Exámenes		3,75		7	10,75
<b>TOTAL</b>		<b>33,75</b>		<b>78,75</b>	<b>112,50</b>

## 9.- Recursos

## Libros de consulta para el alumno

- J. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, 1988
- R. Stone, *Introduction to Internal Combustion Engines*, McMillan, 1999
- A. Medina y otros, *Quasi-Dimensional Simulation of Spark Ignition Engines*, Springer, 2014
- M.J. Moran and H.N. Shapiro, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 2008

- J. Horlock, *Advanced Gas Turbine Engines*, Pergamon, 2003
- J. Duffie and W. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, Wiley, 2006

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

Material suministrado a través de Studium.

## 10.- Evaluación

### Consideraciones Generales

La evaluación de la asignatura contempla tanto el trabajo diario del estudiante, verificado mediante una evaluación continua, como el aprovechamiento global de la asignatura, que será analizado mediante una prueba final.

### Criterios de evaluación

Para superar la asignatura el estudiante debe obtener una nota mínima de 5 sobre 10. Los pesos relativos de cada uno de los elementos de evaluación son los siguientes:

Instrumento	Peso mín.	Peso máx.
Participación en actividades presenciales	15	20
Presentación de trabajos	30	50
Prueba final	35	50

### Instrumentos de evaluación

- Participación en actividades presenciales: No se valorará la mera asistencia a las clases, sino que se requerirá la participación activa en ellas.
- Presentación de trabajos: Los estudiantes realizarán uno o más trabajos que serán

expuestos ante todo el grupo durante el curso.

- Prueba final: Se realizará en las fechas propuestas en la planificación docente y tendrá una duración de unas tres horas.

#### Recomendaciones para la evaluación.

Se recomienda la asistencia y participación activa en las clases. También se recomienda llevar la asignatura al día y utilizar las tutorías siempre que sea necesario.

#### Recomendaciones para la recuperación.

Sólo es recuperable la parte de la calificación correspondiente al examen final, manteniéndose la nota de la evaluación continua (participación y trabajos).

## ELECTROMAGNETISMO EN MATERIALES AVANZADOS Y APLICACIONES

## 1.- Datos de la Asignatura

Código	305336	Plan	2016	ECTS	4.5
Carácter	Optativa	Curso	Máster	Periodicidad	1.º semestre
Área	Electromagnetismo				
Departamento	Física Aplicada				
Plataforma Virtual	Plataforma:	studium			
	URL de Acceso:	<a href="https://studium.usal.es/">https://studium.usal.es/</a>			

## Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Marcelino Zazo Rodríguez	Grupo / s	
Departamento	Física Aplicada		
Área	Electromagnetismo		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	Edificio Trilingüe. Segunda planta. Despacho nº 6 T3307		
Horario de tutorías	Previa consulta con el profesor		

URL Web			
E-mail	<a href="mailto:marcel@usal.es">marcel@usal.es</a>	Teléfono	923 29 44 36 Ext. 6323

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

### Bloque formativo al que pertenece la materia

Formación orientada hacia la tecnología electrónica dentro de la Física Aplicada

### Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

Es una asignatura optativa necesaria para los estudiantes que decidan seguir por la orientación tecnológica.

### Perfil profesional.

Perfil tecnológico

## 3.- Recomendaciones previas

### ASIGNATURAS OPTATIVAS QUE SE RECOMIENDA CURSAR SIMULTANEAMENTE

“Caracterización de materiales y dispositivos”

“Física de Sensores”

“Materiales para la nanotecnología”

“Nanoelectrónica y aplicaciones de alta frecuencia”

## 4.- Objetivos de la asignatura

Clasificar los distintos tipos de respuesta de un material a campos eléctricos y magnéticos.  
Justificar los distintos tipos de respuesta a partir de modelos microscópicos.  
Identificar los materiales cuyas propiedades electromagnéticas los hacen útiles para aplicaciones tecnológicas.  
Aplicar técnicas de medida para determinar las propiedades electromagnéticas de los materiales.

## 5.- Contenidos

Ecuaciones de Maxwell y medios materiales.  
Respuesta dieléctrica: polarizabilidad y permitividad estática. Permitividad dinámica.  
Materiales dieléctricos avanzados: ferroeléctricos y dieléctricos de alta permitividad.  
Magnetismo ordenado: ferromagnetismo, antiferromagnetismo y ferrimagnetismo.  
Multiferroicos.  
Anisotropía magnética y magnetostricción. Dominios magnéticos.

## 6.- Competencias a adquirir

Específicas.

CE3, CE4, CE5

Básicas/Generales.

CB6, CB7, CB8, CB9, CB10

Transversales.

Los estudiantes adquirirán una visión global sobre los distintos tipos de comportamientos de

los materiales como respuesta a campos eléctricos y magnéticos, así como de los modelos microscópicos que explican dichos comportamientos

## 7.- Metodologías docentes

DESCRIPCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS	
METODOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
<b>Clases de teoría</b>	Mediante clases magistrales se desarrollarán los contenidos teóricos de la asignatura.
<b>Sesiones prácticas</b>	Sesiones practicas de laboratorio: Medida de la susceptibilidad magnética Dependencia de las propiedades conductoras con la temperatura en materiales conductores, semiconductores y superconductores. Histéresis ferromagnética en ac y dc
<b>Tutorías</b>	Además de las tutorías presenciales en los horarios establecidos, los profesores estarán disponibles a través de e-mail para atender las dudas que se puedan resolver mediante este medio o concertar tutorías personalizadas.

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

	Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
	Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales	27		40	67
Prácticas	En aula			
	En el laboratorio	15	10	25
	En aula de informática			
	De campo			
De visualización (visu)				
Seminarios				
Exposiciones y debates				
Tutorías				
Actividades de seguimiento online				
Preparación de trabajos				
Otras actividades (detallar)				
Exámenes	3		17.5	20.5
<b>TOTAL</b>	<b>45</b>		<b>67.5</b>	<b>112.5</b>

## 9.- Recursos

## Libros de consulta para el alumno

Albella, J.M. y Martínez, J.M.: “Física de Dieléctricos”, Marcombo, Barcelona 1984.  
 Cullity, B.D.: “Introduction to Magnetic Materials”, Addison-Wesley, 2009.  
 Bertotti. G.: “Hysteresis in Magnetism”, Academic Press, 1998.

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

**10.- Evaluación****Consideraciones Generales**

La evaluación de las competencias de la materia se basará principalmente en una prueba escrita final junto con el trabajo continuado durante el curso controlado a través de la asistencia, trabajos entregados, prácticas y otras pruebas que se realicen.

**Criterios de evaluación**

Se valorará la adquisición de las competencias de carácter teórico y práctico. Se tendrán en cuenta tanto la prueba escrita final como las actividades de evaluación continua.

**Instrumentos de evaluación**

Se utilizarán los siguientes:

- Asistencia y participación activa en las actividades de la asignatura. Se evaluará la entrega de ejercicios y trabajos propuestos por el profesor a lo largo del curso, así como la exposición y debate de los mismos en clase. También se evaluarán las prácticas realizadas en el laboratorio. Será un 60% de la nota total de la asignatura.
- Prueba escrita final: Se evaluará la teoría (conocimiento de conceptos, enunciados y razonamientos expuestos en las clases de teoría) mediante la contestación de preguntas. Será un 40% de la nota final de la asignatura.

**Recomendaciones para la evaluación.**

Para la adquisición de las competencias previstas en esta materia se recomienda la asistencia y participación activa en todas las actividades programadas.

**Recomendaciones para la recuperación.**

Se realizará una prueba escrita de recuperación que servirá para recuperar la parte de la nota correspondiente a la prueba escrita final.

## FÍSICA DE SENSORES

## 1.- Datos de la Asignatura

Código	305337	Plan	2016	ECTS	4,5
Carácter	Optativa	Curso	1.º	Periodicidad	2.º semestre
Área	Física Aplicada / Electrónica / Electromagnetismo				
Departamento	Física Aplicada				
Plataforma Virtual	Plataforma:	moodle			
	URL de Acceso:	<a href="http://studium.usal.es">http://studium.usal.es</a>			

## Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Jesús Enrique Velázquez Pérez	Grupo / s	
Departamento	Física Aplicada		
Área	Electrónica		
Centro	Facultad de Ciencias. Edificio Trilingüe		
Despacho	T2101 (Edificio Trilingüe)		

Horario de tutorías	Se especificará al inicio del curso		
URL Web			
E-mail	<a href="mailto:js@usal.es">js@usal.es</a>	Teléfono	923294500, ext.6331

Profesor	María Susana Pérez Santos	Grupo / s	
Departamento	Física Aplicada		
Área	Electrónica		
Centro	Facultad de Ciencias. Edificio Trilingüe		
Despacho	T2106 (Edificio Trilingüe)		
Horario de tutorías	Lunes, martes y miércoles de 16:00 a 18:00 h		
URL Web			
E-mail	<a href="mailto:susana@usal.es">susana@usal.es</a>	Teléfono	923294400 ext. 1304

Profesor	Luis López Díaz	Grupo / s	
Departamento	Física Aplicada		
Área	Electromagnetismo		
Centro	Facultad de Ciencias. Edificio Trilingüe		

Despacho	T3308 (Edificio Trilingüe)		
Horario de tutorías	Se especificará al principio de curso		
URL Web	<a href="http://diarium.usal.es/lld/">http://diarium.usal.es/lld/</a>		
E-mail	<a href="mailto:lld@usal.es">lld@usal.es</a>	Teléfono	923294500, ext. 6324

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

### Bloque formativo al que pertenece la materia

Esta asignatura pertenece al bloque formativo III (Física y tecnología de materiales y dispositivos avanzados).

### Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

Asignatura de carácter aplicado en la que muestra cómo la respuesta controlada de ciertos materiales a un determinado estímulo físico puede utilizarse para construir sensores de muy diversa índole, los cuales están presentes en multitud de aplicaciones hoy en día.

### Perfil profesional.

Materiales, energía, telecomunicaciones, instrumentación.

## 3.- Recomendaciones previas

Haber cursado o estar cursando paralelamente con ella las siguientes asignaturas del máster: Materiales para la nanotecnología, Instrumentación avanzada, Electromagnetismo en

materiales avanzados, Nanotecnología y aplicaciones en alta frecuencia.

#### 4.- Objetivos de la asignatura

- Obtener una visión general de los tipos de sensores que existen, el principio físico en el que se basan y sus aplicaciones.
- Conocer los parámetros que caracterizan el comportamiento de un sensor.
- Caracterizar experimentalmente algunos de estos parámetros.

#### 5.- Contenidos

- Fundamentos y aspectos generales de los sensores
- Sensores mecánicos
- Sensores térmicos
- Sensores electromagnéticos
- Sensores optoelectrónicos
- Sensores químicos

#### 6.- Competencias a adquirir

Específicas

CG1, CB6, CB7, CB8, CB9, CB10

Generales

CE3, CE4, CE5

### 7.- Metodologías docentes

**-Clases magistrales.** Se dedicarán a la exposición de los aspectos teóricos de la materia: fundamentos físicos, clasificación de los sensores en base a los mismos, parámetros característicos, aplicaciones, etc.

**-Prácticas de laboratorio.** Se dedicarán a caracterizar el comportamiento de diversos sensores utilizando técnicas de medida básicas, así como al diseño y construcción de dispositivos sencillos para fines concretos que utilicen alguno de estos sensores.

**-Prácticas de simulación.** Se utilizarán diversas herramientas para caracterizar el comportamiento de los sensores, adaptación de la señal, circuitería de interfaz, etc.

**-Exposiciones de trabajos.** Los alumnos expondrán sus trabajos, que podrán ser de carácter teórico o práctico.

### 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

	Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
	Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales	25		25	50
Prácticas	En aula			
	En el laboratorio	15	25	40
	En aula de informática			

	• De campo				
	• De visualización (visu)				
Seminarios					
Exposiciones y debates	3		1	4	
Tutorías					
Actividades de seguimiento online					
Preparación de trabajos			10	10	
Otras actividades (detallar)					
Exámenes	2		6,5	8,5	
	<b>TOTAL</b>	<b>45</b>	<b>67,5</b>	<b>112,5</b>	

## 9.- Recursos

### Libros de consulta para el alumno

*Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications.* J. Fraden (Springer, New York, 2010).

*The measurement, instrumentation, and sensors handbook.* John G. Webster, editor in chief (CRC Press, Boca Raton, 1998).

*Sensores y acondicionadores de señal.* Ramón Pallás Areny (Marcombo, Barcelona, 2005).

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

## 10.- Evaluación

### Consideraciones Generales

La evaluación estará basada en medir el grado de adquisición de las competencias propias de la asignatura, tanto de carácter teórico como práctico.

### Criterios de evaluación

La asignatura se divide en 2 bloques, que se evaluarán por separado a la finalización de cada uno de ellos. Cada bloque tendrá un peso del 50% en la calificación final.

### Instrumentos de evaluación

La evaluación de cada uno de los bloques estará basada en algunos de los siguientes instrumentos:

- Presentación de trabajos** (que puede incluir entre otras actividades la elaboración y exposición de trabajos, resolución y discusión de problemas y ejercicios, etc.). Supondrá entre el 40% y el 50% de la nota final de la asignatura.
- Participación en actividades presenciales** (actitud proactiva y participativa en las actividades presenciales –clases magistrales, prácticas, exposiciones- y las tareas que se propongan). Supondrá entre el 40% y el 50% de la nota final de la asignatura.
- Prueba final**. Supondrá entre el 0% y el 20% de la nota final de la asignatura.

### Recomendaciones para la evaluación.

- Estudio y seguimiento de la materia desde el primer día de actividad docente.
- Asistencia y actitud participativa en las clases magistrales.
- Realización de las prácticas de laboratorio.
- Realización de los ejercicios y tareas propuestos.

### Recomendaciones para la recuperación.

Sólo será necesario recuperar aquellos bloques en los que no se haya superado la calificación mínima. Los instrumentos de evaluación serán los mismos que en la primera convocatoria, pero las tareas propuestas (problemas, trabajos, etc.) serán distintas.

## FUNDAMENTOS DE OPTIMIZACIÓN TERMODINÁMICA

### 1.- Datos de la Asignatura

Código	305338	Plan	2016	ECTS	4,5
Carácter	Optativa	Curso	1.º	Periodicidad	1.º semestre
Área	Área Física Aplicada				
Departamento	Departamento de Física Aplicada				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Studium			
	URL de Acceso:	<a href="http://studium.usal.es">http://studium.usal.es</a>			

### Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Antonio Calvo Hernández	Grupo / s	Todos
Departamento	Física Aplicada		
Área	Física Aplicada		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	Edificio Trilingüe, 2.ª planta, despacho 11		
Horario de tutorías	A convenir		

URL Web	<a href="http://studium.usal.es">http://studium.usal.es</a>		
E-mail	<a href="mailto:anca@usal.es">anca@usal.es</a>	Teléfono	923 294 500 ext. 1311

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

Bloque formativo al que pertenece la materia

La asignatura pertenece al módulo de Física Aplicada

Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

Esta asignatura aborda el estudio de los fundamentos de la termodinámica de tiempo finito y de los procesos irreversibles para el análisis y optimización de convertidores termo-solares, termoeléctricos y bioquímicos.

Perfil profesional.

Es una asignatura relevante dentro del perfil de Física Aplicada que ofrece el Máster.

## 3.- Recomendaciones previas

Son recomendables conocimientos previos de Termodinámica a nivel de grado y cursar la asignatura Convertidores energéticos eficientes y sostenibles

## 4.- Objetivos de la asignatura

Comprender los elementos básicos de la optimización termodinámica a partir del formalismo termodinámico. Ser capaz de plantear y aplicar a sistemas concretos diversas funciones objetivo y procedimientos de optimización, con las correspondientes ligaduras.

## 5.- Contenidos

Conocer los principios de la Termodinámica de tiempos finitos  
Conocer los principios de la Termodinámica de los procesos irreversibles  
Caracterización de flujos y fuerzas termodinámicas  
Funciones objetivos: planteamiento y ligaduras.  
Aplicación a sistemas isotermos y no isotermos: conversión termo-solar, termoeléctrica y bioquímica.

## 6.- Competencias a adquirir

### Específicas.

CE1, CE2, CE4, CE5, CE6

### Básicas/Generales.

CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1

## 7.- Metodologías docentes

Clases magistrales: exposición, por parte del profesor, de los aspectos teóricos de la asignatura.  
Clases prácticas de problemas: resolución de problemas encaminados a aumentar la comprensión de la asignatura y a desarrollar sus aspectos prácticos.

Utilización de *software* para análisis y modelización.

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

		Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
		Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales		20		50	70
Prácticas	- En aula				
	- En el laboratorio				
	- En aula de informática				
	- De campo				
	- De visualización (visu)				
Seminarios		11		21,75	31,75
Exposiciones y debates					
Tutorías					
Actividades de seguimiento online					
Preparación de trabajos					
Otras actividades (detallar)					
Exámenes		3		7	10
TOTAL		<b>34</b>		<b>78,75</b>	<b>112,75</b>

## 9.- Recursos

## Libros de consulta general para el alumno

G. Lebon, D. Jou, and J. Casas Vázquez; *Understanding Non-equilibrium Thermodynamics*. Springer, Berlin (2008)

S. R. Caplan and A. Essig, *Bioenergetics and linear nonequilibrium thermodynamics*, Harvard University Press, Cambridge (1983).

A. Bejan, *Entropy generation and minimization*; CRC Press, Boca Raton (1996)

A. Bejan, *Advance Engineering Thermodynamics*; John Wiley, Hoboken (2006)  
 R. S. Berry et AL.; *Thermodynamic optimization of finite-time processes*; John Wiley, Chichester (200)

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

Material suministrado a través de Studium.

## 10.- Evaluación

### Consideraciones Generales

La evaluación de la asignatura contempla tanto el trabajo diario del estudiante, verificado mediante una evaluación continua, como el aprovechamiento global de la asignatura, que será analizado mediante una prueba final.

### Criterios de evaluación

Para superar la asignatura el estudiante debe obtener una nota mínima de 5 sobre 10. Los pesos relativos de cada uno de los elementos de evaluación son los siguientes:

Instrumento	Peso mín.	Peso máx.
Participación en actividades presenciales	15	20
Presentación de trabajos	30	50
Prueba final	35	50

### Instrumentos de evaluación

Participación en actividades presenciales: No se valorará la mera asistencia a las clases, sino que se requerirá la participación activa en ellas.

Presentación de trabajos: Los estudiantes realizarán uno o más trabajos que serán expuestos ante todo el grupo durante el curso.

Prueba final: Se realizará en las fechas propuestas en la planificación docente y tendrá una duración de unas tres horas.

**Recomendaciones para la evaluación.**

Se recomienda la asistencia y participación activa en las clases. También se recomienda llevar la asignatura al día y utilizar las tutorías siempre que sea necesario.

**Recomendaciones para la recuperación.**

Sólo es recuperable la parte de la calificación correspondiente al examen final, manteniéndose la nota de la evaluación continua (participación y trabajos).

## MATERIALES PARA LA NANOTECNOLOGÍA

## 1.- Datos de la Asignatura

Código	305339	Plan	2016	ECTS	4.5
Carácter	Optativa	Curso	1º	Periodicidad	1.º Semestre
Área	Electromagnetismo, Electrónica y Óptica				
Departamento	Física Aplicada				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Studium			
	URL de Acceso:	<a href="http://studium.usal.es">http://studium.usal.es</a>			

## Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Julio San Román Álvarez de Lara	Grupo / s	Único
Departamento	Física Aplicada		
Área	Óptica		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	T2312 (Edificio Trilingüe)		

Horario de tutorías	Martes, miércoles y jueves de 10 a 12		
URL Web	<a href="http://optica.usal.es/GIOE">http://optica.usal.es/GIOE</a>		
E-mail	<a href="mailto:jsr@usal.es">jsr@usal.es</a>	Teléfono	1337

Profesor Coordinador	Rocío Yanes Díaz	Grupo / s	Único
Departamento	Física Aplicada		
Área	Electromagnetismo		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	T3303 (Edificio Trilingüe)		
Horario de tutorías	Se acordará previa consulta por correo electrónico		
URL Web	<a href="https://dfa.usal.es/">https://dfa.usal.es/</a>		
E-mail	ryanes@usal.es	Teléfono	Ext. 1301

Profesora Coordinadora	María Moreno Vázquez	Grupo / s	Único
Departamento	Física Aplicada		
Área	Electrónica		
Centro	Facultad de Ciencias		

Despacho	M2323 (Edificio La Merced)		
Horario de tutorías	Previa cita por correo electrónico		
URL Web	<a href="https://dfa.usal.es/">https://dfa.usal.es/</a>		
E-mail	<a href="mailto:maria.moreno@usal.es">maria.moreno@usal.es</a>	Teléfono	6062

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

### Bloque formativo al que pertenece la materia

La materia forma parte del Módulo II: Física Aplicada

### Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

Esta asignatura permite que los estudiantes conozcan las propiedades específicas de los materiales a escala nanométrica, sus múltiples aplicaciones y las tecnologías basadas en ellas.

### Perfil profesional.

Debido a la creciente importancia que tiene hoy en día el desarrollo de materiales para la Nanotecnología y su relación directa con la Física, las competencias adquiridas en esta asignatura resultan de vital importancia para el desempeño profesional de los futuros titulados.

## 3.- Recomendaciones previas

No existen recomendaciones previas específicas.

#### 4.- Objetivos de la asignatura

Manejar las propiedades de los diversos materiales magnéticos, electrónicos y ópticos que forman parte de estructuras nanométricas.

Identificar el papel que juega la baja dimensionalidad en el comportamiento de nanoestructuras y las aplicaciones a que puede dar lugar.

Saber explotar las propiedades de las heteroestructuras de dimensiones nanométricas en aplicaciones electrónicas, magnéticas y ópticas.

Utilizar los principios físicos que guían el diseño y desarrollo de nuevos nanomateriales.

Manejar las múltiples aplicaciones que tienen de forma cotidiana diversos sistemas nanométricos.

#### 5.- Contenidos

Contenidos teóricos:

##### **Tema 1. Materiales ópticos**

- Control de la respuesta óptica: Técnicas de modificación del índice de refracción. Aplicaciones.
- Nanoestructuras ópticas: Materiales ópticos multicapa.
- Materiales ópticos avanzados: Cristales fotónicos y metamateriales.

##### **Tema 2. Materiales electrónicos**

- Nanoescalado y técnicas de fabricación.
- Fenómenos de transporte electrónico a escala nanométrica.
- Heterouniones semiconductoras y campos de aplicación. Estructuras semiconductoras de baja dimensionalidad.
- Grafeno.

### Tema 3. Materiales magnéticos

- Materiales magnéticos y propiedades asociadas.
- Nanoestructuras magnéticas: películas delgadas, nanotiras, arrays de dots, nanopartículas, heteroestructuras.
- Aplicaciones: grabación magnética, memorias magnéticas, nano-osciladores.

## 6.- Competencias a adquirir

### Generales/Básicas

CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1

### Específicas

CE2, CE4, CE5, CE6, CE7

### Transversales

## 7.- Metodologías docentes

Sesiones magistrales: exposición de los contenidos de la asignatura

Seminarios: trabajo en profundidad sobre un tema. Ampliación de contenidos de sesiones magistrales.

Pruebas objetivas de tipo test y/o preguntas cortas.

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

		Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
		Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales		22.5		52.5	75
Prácticas	En aula				
	En el laboratorio				
	En aula de informática				
	De campo				
	De visualización (visu)				
Seminarios		9		21	30
Exposiciones y debates					
Tutorías					
Actividades de seguimiento online					
Preparación de trabajos					
Otras actividades (detallar)					
Exámenes		2.25		5.25	7.5
<b>TOTAL</b>		<b>33.75</b>		<b>78.75</b>	<b>112.5</b>
<b>9.- Recursos</b>					

Libros de consulta para el alumno
<p>“Fundamentals of Photonics”, B.E.A. Saleh y M.C. Teich, John Wiley &amp; Sons 2<sup>nd</sup> Edition. 2007.</p> <p>“Introduction to nanoelectronics”, V. V. Mitin et al., Cambridge University Press, 2008</p> <p>“Magnetism in Condensed Matter”, Stephen Blundell, Oxford University Press, 2001</p>
Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.
<p>John Pendry, “Metamaterials in the sunshine” News &amp; Views 5, 599 (2006).</p> <p>W.J. Padilla et al. “Negative refractive index metamaterials” Materials Today 9, 28 (2006).</p> <p>“The physics of low dimensional semiconductors: an introduction”, John H. Davies, Cambridge University Press, 1998</p>

K. S. Novoselov et al., “A roadmap for graphene”, Nature, vol. 490, Oct. 2012  
Samuel D. Bader, “Magnetism in low dimensionality”, Surface Science 500, 172-188 (2002)  
Robert L. Stamps et al. “The 2014 Magnetism Roadmap”, J. Phys. D: Appl. Phys. 47, 333001 (2014)

## 10.- Evaluación

### Consideraciones Generales

La evaluación de las competencias de la asignatura se basará en el trabajo continuado, controlado periódicamente con diferentes instrumentos de evaluación, conjuntamente con una prueba objetiva de tipo test y/o cuestiones cortas.

### Criterios de evaluación

El conjunto de todos los instrumentos de evaluación (cuestionarios, test, entregas, seminarios, etcétera) tendrá una ponderación del 80% de la nota final, y la participación en las actividades presenciales de la asignatura tendrá el 20% restante.

### Instrumentos de evaluación

Prueba objetiva de tipo test y/o cuestiones cortas sobre los contenidos vistos en la asignatura.

Asistencia y participación activa en las actividades de la asignatura.

Realización individual o en grupo de ejercicios y/o trabajos y discusión de los mismos.

### Recomendaciones para la evaluación.

Para la adquisición de las competencias previstas en esta asignatura se recomienda la asistencia y participación activa en todas las actividades programadas.

**Recomendaciones para la recuperación.**

Las pruebas de recuperación extraordinarias se realizarán conforme al calendario que apruebe la Junta de Centro. Al igual que en la evaluación ordinaria, se recomienda haber asistido y participado activamente en las actividades programadas durante el periodo lectivo.

## NANOELECTRÓNICA Y APLICACIONES EN ALTA FRECUENCIA

### 1.- Datos de la Asignatura

Código	305340	Plan	2016	ECTS	4.5
Carácter	Optativa	Curso	1º	Periodicidad	2ºCuatrimestre
Área	Electrónica				
Departamento	Física Aplicada				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Studium			
	URL de Acceso:	<a href="http://studium.usal.es">http://studium.usal.es</a>			

### Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Tomás González Sánchez	Grupo / s	
Departamento	Física Aplicada		
Área	Electrónica		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	T2103 (Trilingüe)		
Horario de tutorías	Lunes, Martes, Miércoles y Jueves de 16:30 a 18:00 h		

URL Web	<a href="http://diarium.usal.es/tomasg">http://diarium.usal.es/tomasg</a>		
E-mail	<a href="mailto:tomasg@usal.es">tomasg@usal.es</a>	Teléfono	923294500, Ext.6329

Profesor	Yahya Moubarak Meziani	Grupo / s	
Departamento	Física Aplicada		
Área	Electrónica		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	T2101 (Trilingüe)		
Horario de tutorías	Martes y miércoles de 17 a 20 h		
URL Web			
E-mail	<a href="mailto:meziani@usal.es">meziani@usal.es</a>	Teléfono	923294500, Ext.6331

Profesor	Javier Mateos López	Grupo / s	
Departamento	Física Aplicada		
Área	Electrónica		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	T2104 (Trilingüe)		

Horario de tutorías	Lunes y miércoles de 16:30 a 19:30 h		
URL Web			
E-mail	<a href="mailto:javierm@usal.es">javierm@usal.es</a>	Teléfono	923294500, Ext.6328

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

### Bloque formativo al que pertenece la materia

Es una materia que forma parte del Módulo II “Física Aplicada”

### Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

Se trata de una asignatura optativa en la que se desarrollan los fundamentos de dispositivos electrónicos avanzados que operan a alta frecuencia, desde algunos GHz ( $1 \text{ GHz}=10^9 \text{ Hz}$ ) hasta THz ( $1 \text{ THz}=10^{12} \text{ Hz}$ ) y las aplicaciones en las que se utilizan. Tiene un importante contenido práctico.

### Perfil profesional.

Corresponde a un perfil profesional aplicado, orientado al campo de las nanotecnologías y las comunicaciones.

## 3.- Recomendaciones previas

Haber cursado previamente la asignatura “Materiales para la Nanotecnología” y cursar simultáneamente “Caracterización de materiales y dispositivos”.

#### 4.- Objetivos de la asignatura

- Manejar las diferentes familias de dispositivos electrónicos avanzados de dimensiones nanométricas.
- Identificar las limitaciones que imponen los procesos tecnológicos al funcionamiento de los dispositivos.
- Saber utilizar los circuitos equivalentes de los dispositivos en aplicaciones de alta frecuencia.
- Identificar los elementos que limitan la respuesta de los dispositivos a alta frecuencia y diseñar estrategias para su optimización.
- Distinguir las características particulares de la banda de THz y manejar los principios físicos de funcionamiento de las diferentes familias de dispositivos capaces de operar a tales frecuencias.

#### 5.- Contenidos

##### TEÓRICOS

##### 1. INTRODUCCIÓN

Interés y aplicaciones de las bandas de GHz y THz  
Materiales semiconductores utilizados en dispositivos de alta frecuencia  
Principales familias de dispositivos de alta frecuencia  
Conceptos básicos sobre medidas a alta frecuencia

##### 2. DIODOS GENERADORES DE SEÑALES

Diodos de tiempo de tránsito: IMPATT, BARITT  
Dispositivos de transferencia de electrones: diodo Gunn  
Multiplicadores de frecuencia  
Aplicaciones

### 3. TRANSISTORES EN ALTA FRECUENCIA

Tecnología y comportamiento a alta frecuencia de transistores

Transistor bipolar de heterounión (HBT)

Transistor de efecto de campo metal óxido semiconductor (MOSFET)

Transistor de electrones de alta movilidad (HEMT)

Circuitos equivalentes. Aplicaciones

### 4. GENERACIÓN Y DETECCIÓN DE THz

Antenas fotoconductoras para generación de THz

Láser de cascada cuántica (QCL)

Diodo túnel resonante (RTD)

Principios de detección de THz y aplicaciones

### PRÁCTICOS

- Prácticas de laboratorio:

1. Caracterización DC de dispositivos en oblea

2. Analizador vectorial de redes: caracterización de dispositivos hasta 50 GHz

3. Dispositivos para THz: QCL, detector piroeléctrico, antena fotoconductoras

4. Espectroscopía en THz

Elaboración y exposición de problemas y trabajos, supervisados por el profesor, ligados a los temas anteriores.

## 6.- Competencias a adquirir

### Básicas/Generales.

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. Los estudiantes sabrán 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. Los estudiantes serán 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. Los estudiantes sabrán 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. Los estudiantes poseerán las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida auto-dirigido o autónomo.

CG1. Los estudiantes se familiarizarán con los diversos aspectos involucrados en la investigación, tales como: trabajo teórico; consulta de bibliografía, revistas y bases de datos especializadas; redacción de trabajos de investigación; comunicación, exposición, debate y publicación de resultados.

**Específicas.**

CE2. Capacidad para utilizar teorías físicas y métodos matemáticos para modelar y estudiar problemas provenientes de diferentes campos científicos.

CE3. Capacidad para iniciarse en tareas de investigación interdisciplinar en Física y Matemáticas.

CE4. Poseer conocimientos físicos y matemáticos avanzados que permitan cursar un Programa de Doctorado y realizar una tesis doctoral, desarrollando para ello la comprensión de los conceptos.

CE5. Capacidad para incorporarse a grupos de investigación e I+D+i en Física y Matemáticas a través de la interacción con los grupos de la Universidad de Salamanca especializados en dichos campos.

CE6. Capacidad para contribuir a las aplicaciones de la Física y las Matemáticas en empresas de innovación tecnológica.

CE7. Profundizar en un tema de investigación y conocer los avances más recientes en alguna de las actuales líneas de investigación en el ámbito de la Física y las Matemáticas.

Los estudiantes serán capaces de identificar los principios físicos de funcionamiento de los dispositivos electrónicos nanométricos y las particularidades que les permiten operar a frecuencias elevadas

Los estudiantes sabrán utilizar los circuitos equivalentes de los dispositivos para representar su funcionamiento en circuitos de alta frecuencia

## 7.- Metodologías docentes

Las metodologías docentes consistirán en:

### **Clases magistrales de teoría**

Se expondrá el contenido teórico de los temas en clases presenciales para transmitir a los estudiantes los conocimientos ligados a las competencias previstas.

### **Seminarios**

En los seminarios se ilustrarán aspectos concretos de los temas, bien por medio de presentaciones y/o simulaciones de los dispositivos estudiados dirigidas por el profesor, bien mediante la presentación y discusión de artículos científicos (en forma de trabajos) por parte de los estudiantes.

### **Clases prácticas (laboratorio)**

Las clases prácticas se desarrollarán en laboratorios de investigación de dispositivos semiconductores de RF y de THz. Consistirán, por una parte, en el conocimiento y manejo de la instrumentación para caracterizar dispositivos a alta frecuencia y, por otra, en la realización de medidas DC y RF en dispositivos concretos (diodos y transistores) y experiencias de espectroscopia en THz. Se fomentará la interacción profesor/estudiante y el trabajo en equipo como forma de adquirir las competencias transversales inherentes al máster. Los estudiantes elaborarán informes acerca de los resultados obtenidos en las prácticas.

### **Interacción online**

Se realizará mediante la plataforma Studium de la USAL. Se utilizará para la planificación, el intercambio de documentos y la interacción habitual con los estudiantes para el desarrollo de las actividades previamente descritas.

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

		Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
		Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales		18		18	36
Prácticas	En aula	6		8	14
	En el laboratorio	12		12.5	24.5
	En aula de informática				
	De campo				
	De visualización (visu)				
Seminarios		6		8	14
Exposiciones y debates					
Tutorías					
Actividades de seguimiento online					
Preparación de trabajos				6	6
Otras actividades (detallar)					
Exámenes		3		15	18
TOTAL		45		67.5	112.5

### 9.- Recursos

#### Libros de consulta para el alumno

- S. M. Sze and K. K. Ng, *Physics of Semiconductor Devices*, Wiley Interscience (2007).
- S. Prasad, H. Schumacher and A. Gopinath, *High-speed Electronics and Optoelectronics*, Cambridge University Press (2009)
- W. Liu, *Fundamentals of III-V Devices*, Wiley Interscience (1999).
- S. L. Dexheimer, *Terahertz Spectroscopy: Principles and Applications (Optical Science and Engineering)*, CRC Press (2008).
- G. Carpintero, E. Garcia-Munoz, H. Hartnagel, S. Preu, and A. Raisanen, *Semiconductor Terahertz Technology: Devices and Systems at Room Temperature Operation*, Wiley-IEEE Press (2015)

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

- T. G. van de Roer, *Microwave Electronic Devices*, Chapman & Hall (1994).
  - M. Shur, *GaAs Devices and Circuits*, Plenum Press (1987).
  - K. Sakai, *Terahertz Optoelectronics (Topics in Applied Physics)*, Springer (2005).
- Los estudiantes también manejarán artículos científicos.

## 10.- Evaluación

### Consideraciones Generales

El grado de adquisición de las competencias se valorará a través de los resultados de aprendizaje de carácter teórico y práctico obtenidos. Tal valoración se realizará mediante actividades de evaluación continua y una prueba escrita final.

### Criterios de evaluación

Las actividades de evaluación continua supondrán el 70% de la nota total de la asignatura y la prueba escrita final el restante 30%. Para superar la asignatura será necesario alcanzar en la prueba escrita final al menos un 30% de la nota máxima de la misma.

### Instrumentos de evaluación

Evaluación continua (65%):

- Elaboración y defensa de trabajos (45%).
- Participación en las clases prácticas (20%).

Prueba escrita final (35%):

- Examen escrito de cuestiones teóricas.

**Recomendaciones para la evaluación.**

Para la adquisición de las competencias previstas en esta asignatura se recomienda la asistencia y participación activa en todas las actividades programadas.

**Recomendaciones para la recuperación.**

Se realizará una prueba de recuperación escrita que supondrá el 35% de la nota. El restante 65% corresponderá a la nota de la evaluación continua obtenida en los apartados de elaboración de trabajos (45%) y participación en prácticas (20%), que no será recuperable.

## ASTROFÍSICA RELATIVISTA Y COSMOLOGÍA

## 1.- Datos de la Asignatura

Código	305341	Plan	2016	ECTS	4.5
Carácter	Optativo	Curso	1.º	Periodicidad	1.º semestre
Área	Física Teórica				
Departamento	Física Fundamental				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Moodle			
	URL de Acceso:	<a href="https://studium.usal.es/">https://studium.usal.es/</a>			

## Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Kerstin Elena Kunze	Grupo / s	
Departamento	Física Fundamental		
Área	Física Teórica		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	Edificio Trilingüe, T3339		
Horario de tutorías	A concretar con el profesor		

URL Web			
E-mail	<a href="mailto:kkunze@usal.es">kkunze@usal.es</a>	Teléfono	923 294500 ext. 6120

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

Bloque formativo al que pertenece la materia
Física Teórica
Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.
Perfil profesional.
Investigación

## 3.- Recomendaciones previas

Los alumnos deben ser graduados en Física. Es recomendable haber cursado asignaturas de la rama de Física Teórica: Introducción a la Astrofísica, Relatividad General, Introducción a la Cosmología, Mecánica Cuántica y Física Nuclear y de Partículas

#### 4.- Objetivos de la asignatura

El alumno obtendrá un conocimiento global del modelo cosmológico estándar junto con la física inflacionaria. Para ello aprenderá a estudiar la dinámica de universos dominados por diferentes componentes (materia, radiación, constante cosmológica...), calcular distancias cosmológicas y los problemas del modelo del Big Bang. Se explicará cómo la física inflacionaria del universo primitivo permite resolver estos problemas y, además, proporciona un mecanismo para la generación de las perturbaciones primordiales a partir de fluctuaciones cuánticas. Para ello, el alumno deberá adquirir las competencias necesarias sobre la teoría de perturbaciones cosmológicas. Se proporcionarán nociones básicas sobre los procesos que tienen lugar tras la inflación y que llevan a la producción de las abundancias primordiales de los elementos ligeros así como la formación del fondo cósmico de microondas. Finalmente, se estudiará la evolución de las anisotropías del fondo cósmico y la formación de estructuras a gran escala en el universo.

#### 5.- Contenidos

El contenido de la asignatura es teórico, distribuido en los siguientes apartados:

- La geometría del Universo. Redshift cosmológico y distancias en cosmología.
- Dinámica de universos homogéneos e isotropos. El modelo del hot Big-Bang.
- Los problemas del horizonte y la planitud: Inflación.
- La física de la inflación. Parámetros de slow-roll. Recalentamiento.
- Teoría de perturbaciones cosmológicas.
- Generación de los espectros primordiales durante inflación.
- Breve historia térmica del universo. Nucleosíntesis primordial, desacoplo, formación del CMB.

- Perturbaciones cosmológicas tras el desacoplo: anisotropías del CMB y formación de estructuras.

## 6.- Competencias a adquirir

Competencias Básicas: CB6, CB7, CB8, CB9, CB10

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. Los estudiantes sabrán 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. Los estudiantes serán 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. Los estudiantes sabrán 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. Los estudiantes poseerán las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

Competencias Específicas: CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE7

CE1. Conocer las bases teóricas del estado actual de la Física y las Matemáticas

CE2. Capacidad para utilizar teorías físicas y métodos matemáticos para modelar y estudiar problemas provenientes de diferentes campos científicos.

- CE3 Capacidad para iniciarse en tareas de investigación interdisciplinar en Física y Matemáticas.
- CE4. Poseer conocimientos físicos y matemáticos avanzados que permitan cursar un Programa de Doctorado y realizar una tesis doctoral, desarrollando para ello la comprensión de los conceptos.
- CE5. Capacidad para incorporarse a grupos de investigación e I+D+i en Física y Matemáticas a través de la interacción con los grupos de la Universidad de Salamanca especializados en dichos campos.
- CE6. Capacidad para contribuir a las aplicaciones de la Física y las Matemáticas en empresas de innovación tecnológica.
- CE7. Profundizar en un tema de investigación y conocer los avances más recientes en alguna de las actuales líneas de investigación en el ámbito de la Física y las Matemáticas.

## 7.- Metodologías docentes

En las clases magistrales se expondrán los contenidos de la asignatura. Los seminarios se utilizarán en su caso para profundizar un tema, resolución de problemas y/o exposición oral de trabajos por parte de los alumnos.

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

		Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
		Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales					
Prácticas	En aula	30		55	85
	En el laboratorio				
	En aula de informática				
	De campo				
	De visualización (visu)				
Seminarios		5		10	15
Exposiciones y debates					
Tutorías					
Actividades de seguimiento online					
Preparación de trabajos					
Otras actividades (detallar)					
Exámenes		4		8.5	12.5
<b>TOTAL</b>		<b>39</b>		<b>73.5</b>	<b>112.5</b>

## 9.- Recursos

## Libros de consulta para el alumno

- "Cosmology". P. Coles, F. Lucchin. Wiley (2002).
- "Modern Cosmology". S. Dodelson. Academic Press (2003).
- "The Early Universe". E.W. Kolb, M.S. Turner. Addison-Wesley (1990).

- "Structure Formation in the Universe". T. Padmanabhan. Cambridge (1993).
- "Cosmological Physics". J.A. Peacock. Cambridge (1998).
- "Large Scale Structure of the Universe". P.J.E. Peebles. Princeton (1980).
- "General Relativity". N. Straumann. Springer (2013)

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

Bases de datos:

<http://esoads.eso.org/>

<http://arXiv.org/>

**10.- Evaluación****Consideraciones Generales****Criterios de evaluación**

La evaluación valorará la adquisición de las competencias de carácter teórico y práctico que se comprobará tanto por actividades de evaluación continua a través de entrega de ejercicios y trabajos como por una prueba escrita final.

**Instrumentos de evaluación**

La entrega de ejercicios y trabajos propuestos por el profesor a lo largo del curso proporcionarán un 60% de la nota total de la asignatura. La prueba escrita final será un 40% de la nota total de la asignatura. Para superar la asignatura será necesario alcanzar en la prueba escrita final al menos un 30% de la nota máxima de esta prueba (o de su recuperación).

**Recomendaciones para la evaluación.****Recomendaciones para la recuperación.**

Solo podrá recuperarse la prueba escrita final.

## INTERACCIONES FUNDAMENTALES

## 1.- Datos de la Asignatura

Código	305342	Plan	2016	ECTS	4.5
Carácter	Optativo	Curso	1.º	Periodicidad	2º Semestre
Área	Física Atómica, Molecular y Nuclear				
Departamento	Física Fundamental				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Studium			
	URL de Acceso:	<a href="https://studium.usal.es">https://studium.usal.es</a>			

## Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Teresa Fernández Caramés (1ª parte)	Grupo / s	
Departamento	Física Fundamental		
Área	Física Atómica, Molecular y Nuclear		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	Trilingüe 22 (T3333)		
Horario de tutorías	Jueves y viernes de 10 a 13 h		

URL Web			
E-mail	carames@usal.es	Teléfono	Ext. 1375

Profesor Coordinador	Conrado Albertus Torres (2ª parte)	Grupo / s	
Departamento	Física Fundamental		
Área	Física Atómica, Molecular y Nuclear		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	Casa del Parque 1. Despacho P1125		
Horario de tutorías	Se publicará al inicio del curso en Studium.		
URL Web			
E-mail	albertus@usal.es	Teléfono	Ext. #6124

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

Bloque formativo al que pertenece la materia

Física Teórica

Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

Asignatura optativa

Perfil profesional.

Investigador

## 3.- Recomendaciones previas

Cursar previamente las asignaturas de Teoría Cuántica de Campos I y Simetrías en Física

## 4.- Objetivos de la asignatura

- Adquirir conocimientos sobre las teorías vigentes de las interacciones fuerte y electrodébil.
- Adquirir conocimientos sobre la física de neutrinos.
- Ser capaz de realizar cálculos de procesos electrodébiles.
- Ser capaz de realizar cálculos a partir de modelos quirales.

## 5.- Contenidos

- **Tema 1: Introducción a las interacciones electrodébiles.**

Introducción histórica. Fenomenología. Corrientes cargadas. Interacción V-A y problemas que presenta. Límite de unitariedad. Bosones mediadores vectoriales. Corrientes neutras.

- **Tema 2: Simetría gauge en QED.**

Transformación gauge global y local  $U(1)$ . Derivada covariante. Términos de masa para electrones y fotones. Término cinético para fotones. Predicciones de QED: momento magnético anómalo del muón.

- **Tema 3: Simetría gauge no abeliana.**

Modelo estándar. Invariancia bajo  $SU(2) \times U(1)$ . Autoacoplamiento de bosones gauge. Interacción de corrientes cargadas. Interacción de corrientes neutras: rotación de Weinberg.

- **Tema 4: Rotura espontánea de simetría.**

Rotura espontánea de una simetría global. Teorema de Goldstone. Electrodinámica escalar. Mecanismo de Higgs-Kibble. Rotura espontánea de simetría en el modelo estándar. Predicciones: masas de bosones mediadores. El bosón de Higgs: masa,

acoplamientos y propiedades.

- **Tema 5: Fermiones en el Modelo estándar.**

Necesidad del quark charm. Mecanismo GIM. Corrientes neutras no cambian sabor. Familias de fermiones. Mecanismo GIM generalizado. Masas para los quarks. Corrientes cargadas. Lagrangiano del Modelo estándar completo.

- **Tema 6: Neutrinos.**

Propiedades generales. Fenomenología. Masas de Dirac y Majorana. Modelos para masa de neutrinos: mecanismo seesaw. Oscilaciones de neutrinos en el vacío y en materia. Implicaciones en la simetría CP.

- **Tema 7: Cromodinámica Cuántica.**

El grupo  $SU(3)$ . QCD como teoría gauge. Ecuaciones del movimiento y tensor energía-momento. Simetrías globales del lagrangiano de QCD. Condensados de quarks. Simetría de escala

- **Tema 8: Modelos sigma lineal y no lineal.**

Modelo  $\sigma$  lineal. Modelo  $\sigma$  no lineal. Transformación de los campos bajo  $SU(3)_L \otimes SU(3)_R$ . Generalización del lagrangiano. Términos de rotura debido a la masa no nula de los quarks. Corrientes vector y axial. Invariancia electrodébil.

- **Tema 9: Teoría de perturbaciones quirales ( $\chi$ P T)**

Loops en  $\chi$ PT. Términos de rotura de la simetría chiral. Lagrangiano a orden  $O(E^4)$ . Determinación de corrientes. Lagrangiano completo hasta el orden  $O(E^4)$

#### 6.- Competencias a adquirir

Específicas.

CE1 CE2 CE3 CE4 CE5 CE7

Básicas/Generales.

CB6 CB7 CB8 CB9 CB10 CG1

Transversales.

#### 7.- Metodologías docentes

- Clases magistrales
- Seminarios prácticos

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

	Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
	Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales	35		47	82
Prácticas	- En aula			
	- En el laboratorio			
	- En aula de informática			
	- De campo			
	- De visualización (visu)			
Seminarios	7		14	21
Exposiciones y debates				
Tutorías				
Actividades de seguimiento online				
Preparación de trabajos				
Otras actividades (detallar)				
Exámenes	3		6,5	9,5
<b>TOTAL</b>	<b>45</b>		<b>67.5</b>	<b>112,5</b>

## 9.- Recursos

## Libros de consulta para el alumno

- J. Bernabéu y P. Pascual, *Electroweak Theory*. Universidad Autónoma de Barcelona (1981).
- A. Pich, *The Standard Model of Electroweak Interactions*. arXiv:hep-ph/9412274.

- C. Quigg, “*Gauge Theories of Strong, Weak, and Electromagnetic Interactions*”. Princeton University Press (2nd edition, 2013).
- E. Akhmedov, “*Neutrino Physics*”. arXiv:hep-ph/0001264.
- J. F. Donoghue, E. Golowich and B.R. Holstein, “*Dynamics of the Standard Model*”. Cambridge University Press (1992).

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

Además, los estudiantes dispondrán de los apuntes a través de Studium.

## 10.- Evaluación

### Consideraciones Generales

La evaluación se realizará por medio de la participación en las actividades presenciales, la presentación de trabajos y una prueba final escrita.

### Criterios de evaluación

Participación en actividades presenciales: 20%

Presentación de trabajos: 20%

Prueba escrita final: 60%

### Instrumentos de evaluación

- Trabajos presentados
- Exposición en los seminarios de los trabajos realizados
- Prueba final escrita

**Recomendaciones para la evaluación.**

Estudiar diariamente la asignatura, realizando todos los trabajos y problemas sugeridos por el profesor.

**Recomendaciones para la recuperación.**

Solo podrá recuperarse la prueba final que se realizará siguiendo el mismo formato que la primera.

## RELATIVIDAD GENERAL AVANZADA

## 1.- Datos de la Asignatura

Código	305343	Plan		ECTS	4.5
Carácter	Optativo	Curso	1	Periodicidad	2º semestre
Área	Física Teórica				
Departamento	Física Fundamental				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Studium			
	URL de Acceso:	<a href="https://moodle2.usal.es/">https://moodle2.usal.es/</a>			

## Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Alvaro de la Cruz Dombriz	Grupo / s	
Departamento	Física Fundamental		
Área	Física Teórica		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	P2025 (Planta sotano, Casa del Parque)		
Horario de tutorías	Martes y Miércoles de 11:00 a 12:00		

URL Web			
E-mail	<a href="mailto:alvaro.dombritz@usal.es">alvaro.dombritz@usal.es</a>	Teléfono	

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

### Bloque formativo al que pertenece la materia

Es una materia (= asignatura) que forma parte del “Módulo III: Física Teórica”, que consta de siete asignaturas.

### Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

Es una asignatura optativa del Máster Universitario en Física y Matemáticas.

### Perfil profesional.

Es adecuada para aquellos estudiantes que deseen formarse con un perfil teórico en Física.

## 3.- Recomendaciones previas

### ASIGNATURAS QUE SE RECOMIENDA HABER CURSADO PREVIAMENTE:

Asignaturas de “Astrofísica y Cosmología” y de “Gravitación” del Grado en Física de la Universidad de Salamanca o asignaturas con contenidos equivalentes.

## 4.- Objetivos de la asignatura

- Conocer y saber aplicar el formalismo de Cartan de bases móviles.
- Conocer la descomposición irreducible del tensor de curvatura.
- Saber utilizar el concepto de grupo de transformaciones y de isometrías.
- Conocer la relación entre espacios maximalmente simétricos y espacios con curvatura constante.
- Conocer el concepto de producto alabeado y sus propiedades
- Entender el significado de las condiciones de energía
- Conocer el límite Newtoniano de las ecuaciones de Einstein
- Comprender la extensión de Kruskal de la métrica de Schwarzschild
- Conocer el concepto de horizonte de sucesos
- Saber qué es un horizonte de Killing y la noción de gravedad superficial
- Saber demostrar el teorema de Birkhoff en dimensión arbitraria.
- Conocer y saber usar las ecuaciones de Tolman-Oppenheimer-Volkoff.
- Conocer las propiedades fundamentales de los agujero negros en rotación.
- Ser capaz de obtener la descomposición de las ecuaciones de Einstein de vacío en ecuaciones de ligadura y ecuaciones de evolución.
- Conocer el concepto de hiperbolicidad global y el papel que juega en el problema de Cauchy de las ecuaciones de Einstein.

## 5.- Contenidos

TEMA	EPÍGRAFE
------	----------

<b>Tema 1: Elementos de geometría diferencial</b>	Teorema de Fröbenius Grupos uniparamétricos de transformaciones Formalismo de Cartan Curvatura seccional y de Gauss Álgebra de Killing Espacios maximalmente simétricos Descomposición del tensor de Riemann Métricas conformes Dual de Hodge.
<b>Tema 2: Elementos de Relatividad General</b>	Teorema de Lovelock Tipos de tensor de energía-momento Condiciones de energía Métricas de producto alabeado (warped) Límite Newtoniano de las ecuaciones de Einstein
<b>Tema 3: Espacio-tiempos con simetría esférica</b>	Definición Forma canónica de la métrica Teorema de Birkhoff Extensiones de Eddington-Finlelstein Extensión de Kruskal Agujero negro y horizonte de sucesos Horizonte de Killing y gravedad superficial Ecuaciones de TOV Masa de Misner-Sharp Enlace de espacio-tiempos en simetría esférica Teorema de Birkhoff en dimensión arbitraria
<b>Tema 4: Espacio-tiempo de Kerr</b>	Métrica de Kerr Rotación del horizonte de Killing Ergosfera Proceso de Penrose Constante de Carter y separación Sombra del agujero negro. Coordenadas de Kerr-Schild y extensión

	Horizonte de Cauchy
<b>Tema 5: Descomposición 3+1 de las ecuaciones de Einstein</b>	Geometría de hipersuperficies no degeneradas. Identidades de Gauss y Codazzi. Ecuaciones de ligadura. Ecuaciones de evolución. Hiperbolicidad global. Problema de Cauchy en relatividad general.

#### 6.- Competencias a adquirir

Específicas.
CE1, CE2, CE3, CE7
Básicas/Generales.
CB6, CB7, CB8, CB9, CB10
Transversales.

#### 7.- Metodologías docentes

Se expondrá el material de la asignatura en clases magistrales de contenido fundamentalmente teórico. Estos conocimientos se afianzaran mediante la resolución de casos prácticos y de problemas. Los alumnos deberán no solo resolver estos problemas sino ser capaces de exponerlos en clase de manera clara. La resolución de problemas formará parte esencial del contenido formativo de esta asignatura.

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

	Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
	Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales	40		25	65
Prácticas	En aula	5	30	35
	En el laboratorio			
	En aula de informática			
	De campo			
	De visualización (visu)			
Seminarios				
Exposiciones y debates				
Tutorías				
Actividades de seguimiento online				
Preparación de trabajos				
Otras actividades (detallar)				
Exámenes	4		8.5	12.5
TOTAL	49		63.5	112.5

## 9.- Recursos

## Libros de consulta para el alumno

- Sean Carroll, “Spacetime and Geometry: An introduction to General Relativity”, Adison Wesley, 2004
- Eric Poisson, “A relativists’s toolkit”, The mathematics of black hole mechanics”, Cambridge University Press, 2004.
- Robert Wald, “General Relativity”, University of Chicago Press, Chicago, 1984.
- N. Straumann, “General Relativity–with applications to astrophysics”, Springer Verlag

2004.

· Y. Choquet-Bruhat, “General Relativity and the Einstein Equations”, Oxford Mathematical Monographs, Oxford University Press, 2009.

· S.W. Hawking, G.F.R. Ellis, “The large scale structure of spacetime”, Cambridge University Press, 1973.

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

## 10.- Evaluación

### Consideraciones Generales

La evaluación de las competencias de la materia se basará principalmente en el trabajo continuado, controlado periódicamente con diferentes instrumentos, y en una prueba escrita final.

### Criterios de evaluación

La evaluación valorará la adquisición de las competencias de carácter teórico y práctico que se comprobará tanto por actividades de evaluación continua como por una prueba escrita final.

Las actividades de evaluación continua supondrán el 30% de la nota total de la asignatura. La prueba escrita final será un 40% de la nota total de la asignatura. La asistencia y participación en las clases, con exposición de ejercicios será un 30 % de la nota total de la asignatura.

### Instrumentos de evaluación

Se utilizarán los siguientes:

- Evaluación continua: Entrega de ejercicios (30%), así como exposición en clase de los mismos (30%).
- Prueba escrita: Al finalizar el curso se realizará un examen escrito en el que se evaluarán

los objetivos de aprendizaje adquiridos por los estudiantes. Será un 40% de la nota total de la asignatura.

#### Recomendaciones para la evaluación.

Para la adquisición de las competencias previstas en esta materia se recomienda la asistencia y participación activa en todas las actividades programadas.

#### Recomendaciones para la recuperación.

Se realizará una prueba escrita de recuperación. En caso de que algún estudiante desee desistir de su calificación en evaluación continua obtenida a lo largo del curso, deberá hacerlo por escrito previamente a la prueba escrita de recuperación y, en tal caso, dicha prueba escrita representará el 100% de la nota final de la asignatura.

## SIMETRÍAS EN FÍSICA

## 1.- Datos de la Asignatura

Código	305344	Plan	2013	ECTS	4.5
Carácter	Optativa	Curso	1º	Periodicidad	1º semestre
Área	Física Atómica, Molecular y Nuclear				
Departamento	Física Fundamental				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Studium			
	URL de Acceso:				

## Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Conrado Albertus Torres	Grupo / s	1
Departamento	Física Fundamental		
Área	Física Atómica, Molecular y Nuclear		
Centro	Facultad de Ciencias / Casa del Parque nº 1		
Despacho	P1125		
Horario de tutorías	A concertar con el profesor a través de correo electrónico		

URL Web			
E-mail	<a href="mailto:valcarce@usal.es">valcarce@usal.es</a>	Teléfono	4764

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

Bloque formativo al que pertenece la materia

Simetrías en Física

Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

Es una asignatura optativa de utilidad para cualquier alumno del máster

Perfil profesional.

Es una materia adecuada en cualquier perfil vinculado al máster en Física

## 3.- Recomendaciones previas

#### 4.- Objetivos de la asignatura

Adquirir conocimientos sobre las simetrías en los procesos físicos.  
Aplicar los resultados de la teoría de grupos a la descripción de las simetrías.  
Resolver problemas físicos aplicando los conocimientos anteriores.

#### 5.- Contenidos

- 1.- Simetrías y leyes de conservación
- 2.- Elementos de teoría de grupos
- 3.- Grupos y álgebras de Lie
- 4.- El grupo de rotaciones
- 5.- Simetrías unitarias. Tableros de Young
- 6.- Ampliación y aplicaciones de interés

## 6.- Competencias a adquirir

### Básicas/Generales.

CG1, CB6, CB7, CB8, CB9, CB10

### Específicas.

CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE7

### Transversales.

## 7.- Metodologías docentes

La asignatura se impartirá a través de clases magistrales con apuntes subidos en la plataforma studium. En cada tema se realizarán ejemplos prácticos que los alumnos deberán repetir en casos similares en los seminarios.

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

	Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
	Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales	20		10	30
Prácticas	En aula			
	En el laboratorio			
	En aula de informática			
	De campo			
De visualización (visu)				
Seminarios	5		20	25
Exposiciones y debates				
Tutorías		5		5
Actividades de seguimiento online				
Preparación de trabajos		15	28	43
Otras actividades (detallar)				
Exámenes	2		10.5	12.5
<b>TOTAL</b>	<b>27</b>	<b>20</b>	<b>68.5</b>	<b>115.5</b>

## 9.- Recursos

## Libros de consulta para el alumno

1. Leçons sur la Théorie des Groupes et les Symétries des Particules Élémentaires; H. Bacry. Ed. Gordon and Breach.
2. Group Theory and its Applications to Physical Problems; M. Hamermesh. Ed. Dover.
3. Group Theory in Subnuclear Physics; Fl. Stancu. Ed. Oxford University Press.
4. Angular Momentum in Quantum Mechanics; A.R. Edmonds. Ed. Princeton University Press.

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

--

## 10.- Evaluación

### Consideraciones Generales

Como se indica en las metodologías docentes, habrá sesiones teóricas por cada tema donde se plantearán los aspectos básicos que, posteriormente, los alumnos deberán desarrollar mediante la elaboración de ejercicios. En cada tema habrá un seminario para plantear problemas actuales de interés que los alumnos deberán desarrollar.

### Criterios de evaluación

25% Participación en las actividades presenciales  
25% Realización y, en su caso, defensa de ejercicios  
50% Prueba final escrita

### Instrumentos de evaluación

Participación activa en las actividades presenciales  
Realización y entrega de ejercicios  
Exposición y defensa oral de problemas  
Prueba final escrita

### Recomendaciones para la evaluación.

Seguimiento de la asignatura y trabajo constante

Recomendaciones para la recuperación.

## SISTEMAS DE MUCHOS CUERPOS

## 1.- Datos de la Asignatura

Código	305345	Plan	2014	ECTS	4.5
Carácter	Optativa	Curso		Periodicidad	1 <sup>er</sup> semestre
Área	Física Teórica				
Departamento	Física Fundamental				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Campus Virtual de la Universidad de Salamanca			
	URL de Acceso:	<a href="https://studium.usal.es/">https://studium.usal.es/</a>			

## Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Alberto Rodríguez González	Grupo / s	
Departamento	Física Fundamental		
Área	Física Teórica		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	38 - 2 <sup>a</sup> Planta Edificio Trilingüe		
Horario de tutorías	Concertar cita con el profesor		

URL Web	<a href="https://diarium.usal.es/argon">https://diarium.usal.es/argon</a>		
E-mail	argon@usal.es	Teléfono	923 294500 ext. 1326

Profesor Coordinador	María Ángeles Pérez García	Grupo / s	
Departamento	Física Fundamental		
Área	Física Teórica		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	23 - 2ª Planta Edificio Trilingüe		
Horario de tutorías	Concertar cita con el profesor		
URL Web	<a href="https://diarium.usal.es/mperezga/">https://diarium.usal.es/mperezga/</a>		
E-mail	mperezga@usal.es	Teléfono	923 29 45 00 ext 1320

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

Bloque formativo al que pertenece la materia

La asignatura forma parte del módulo de Física Teórica que agrupa a 7 asignaturas.

Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

Asignatura optativa que se centra en el estudio de las teorías físicas de muchos cuerpos.

Perfil profesional.

Relevante para todos los perfiles profesionales vinculados al máster.

## 3.- Recomendaciones previas

Se recomienda que los estudiantes sean Graduados en Física, y en particular que tengan los conocimientos correspondientes de Mecánica Cuántica.

## 4.- Objetivos de la asignatura

- Conocer métodos generales de resolución de problemas de muchos cuerpos, y aplicarlos al estudio de sistemas físicos complejos.

- Aprender a plantear y resolver problemas físicos en términos de operadores en espacio de Fock.
- Familiarizarse con técnicas de resolución numérica para sistemas de muchos cuerpos.

## 5.- Contenidos

- Sistemas cuánticos de partículas disintinguibles e indistinguibles.
- Segunda cuantización: Espacio de Fock. Teorema de Wick. Operadores de muchos cuerpos. Matriz densidad de N partículas. Interferencia de muchas partículas. Funciones de Green de muchos cuerpos.
- Hamiltonianos de espín. Transformación de Jordan-Wigner. (Anti)ferromagnetismo cuántico.
- Sistemas bosónicos. Superfluidos y aislantes Mott. Hamiltoniano de Bose-Hubbard. Cuasi-partículas de Bogoliubov.
- Sistemas fermiónicos. Hamiltoniano de Fermi-Hubbard. Teoría de Landau Fermi. Superconductividad.

## 6.- Competencias a adquirir

### Básicas/Generales

CG1 - Los estudiantes se familiarizarán con los diversos aspectos involucrados en la investigación, tales como: trabajo teórico; consulta de bibliografía, revistas y bases de datos especializadas; redacción de trabajos de investigación; comunicación, exposición, debate y publicación de resultados.

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.

#### Específicas

CE1 - Conocer las bases teóricas del estado actual de la Física y Matemáticas.

CE2 - Capacidad para utilizar teorías físicas y métodos matemáticos para modelar y estudiar problemas provenientes de diferentes campos científicos.

CE3 - Capacidad para iniciarse en tareas de investigación interdisciplinar en Física y Matemáticas.

CE4 - Poseer conocimientos físicos y matemáticos avanzados que permitan cursar un Programa de Doctorado y realizar una tesis doctoral, desarrollando para ello la comprensión de los conceptos.

CE5 - Capacidad para incorporarse a grupos de investigación e I+D+i en Física y Matemáticas a través de la interacción con los grupos de la Universidad de Salamanca especializados en dichos campos.

CE7 - Profundizar en un tema de investigación y conocer los avances más

recientes en alguna de las actuales líneas de investigación en el ámbito de la Física y las Matemáticas.

### 7.- Metodologías docentes

Clases	Se expondrán y desarrollarán los conceptos teóricos de la materia, de acuerdo a los contenidos indicados, que se aplicarán al estudio de sistemas ejemplares, y serán discutidos en conexión con resultados experimentales.
Preparación de trabajos	Se propondrán regularmente problemas y trabajos que los estudiantes deberán resolver y entregar. Las soluciones serán revisadas por el profesor y discutidas con los estudiantes durante los seminarios y tutorías.
Exposiciones y debates	A lo largo del curso, cada estudiante deberá realizar una exposición oral (25 min) a sus compañeros sobre un tema de investigación sugerido por el profesor. Para la preparación de la presentación, los estudiantes deberán buscar el apoyo del profesor en las tutorías.

### 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

		Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
		Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales		32		40	72
Prácticas	En aula				
	En el laboratorio				
	En aula de informática				
	De campo				
De visualización (visu)					
Seminarios		8		10	18
Exposiciones y debates		2		4,5	6,5
Tutorías		4			4
Actividades de seguimiento online					
Preparación de trabajos				12	12
Otras actividades (detallar)					
Exámenes		4			2
<b>TOTAL</b>		<b>46</b>		<b>66,5</b>	<b>112,5</b>

### 9.- Recursos

#### Libros de consulta para el alumno

- P. Coleman, Introduction to Many-Body Physics, Cambridge University Press, 2015.
- M. Lewenstein, A. Sanpera, V. Ahufinger, Ultracold atoms in optical lattices. Simulating quantum many-body systems, Oxford University Press, 2012.
- X.-G. Wen, Quantum Field Theory of Many-Body Systems, Oxford University Press, 2007.
- G. Stefanucci, R. van Leeuwen, Nonequilibrium Many-Body Theory of Quantum Systems, Cambridge University Press, 2013.
- Alexander L. Fetter, John Dirk Walecka, Quantum Theory of many-particle systems, Ed. Dover, 2013.

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

Material elaborado por el profesor de la asignatura accesible en Studium.

## 10.- Evaluación

### Consideraciones Generales

La evaluación de las competencias de la materia se basará principalmente en el trabajo continuado, que será controlado periódicamente, posibilitando que los estudiantes reciban regularmente una valoración de su progreso.

### Criterios de evaluación

La evaluación valorará la adquisición de las competencias de carácter teórico y práctico, en particular, la correcta comprensión de los fundamentos teóricos de la materia, la capacidad para realizar cálculos analíticos y numéricos, y el desarrollo de la capacidad comunicativa del estudiante para presentar ideas, plantear cuestiones y participar en una discusión científica.

### Instrumentos de evaluación

Evaluación:

- Participación en actividades presenciales y entrega de trabajos y problemas.  
La entrega de las tareas propuestas a lo largo del curso y la participación regular en las clases y seminarios serán condiciones necesarias para superar la evaluación final.
- Prueba final  
La prueba final consistirá en la realización de una presentación oral y la participación

activa en la correspondiente sesión de discusión; ambas serán condiciones necesarias para superar la evaluación final.

La nota final se obtendrá a partir de las calificaciones de los problemas y trabajos realizados y la calificación de la prueba final que tendrá en cuenta la actitud demostrada en la presentación y sesión de discusión.

#### Recomendaciones para la evaluación.

Para la adquisición de las competencias previstas es imprescindible la asistencia y participación activa en todas las actividades programadas.

#### Recomendaciones para la recuperación.

Para poder optar a la recuperación el alumno debe haber realizado al menos el 50% de las entregas de trabajos programadas. Se ofrecerá un periodo de recuperación para completar las tareas y la realización de la presentación oral.

## TEORÍA CUÁNTICA DE CAMPOS I

### 1.- Datos de la Asignatura

Código	305346	Plan	2014	ECTS	4,5
Carácter	Optativa	Curso		Periodicidad	Semestral S1
Área	Física Teórica				
Departamento	Física Fundamental				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Studium.usal.es			
	URL de Acceso:	<a href="https://moodle.usal.es">https://moodle.usal.es</a>			

### Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Manuel Pino García	Grupo / s	
Departamento	Física Fundamental		
Área	Física Teórica		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	Despacho 31, Edificio Trilingüe		
Horario de tutorías	Concertar por e-mail		

URL Web	<a href="https://lbt.usal.es/staff-member/manuel-pino-garcia/">https://lbt.usal.es/staff-member/manuel-pino-garcia/</a>		
E-mail	<a href="mailto:manuelpino@usal.es">manuelpino@usal.es</a>	Teléfono	923 29 45 00 Ext 1557

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

Bloque formativo al que pertenece la materia

Asignatura optativa del Máster Universitario en Física y Matemáticas

Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

Dominio de conceptos y herramientas en una materia clave dentro de la Física Teórica, como es la teoría cuántica de campos.

Perfil profesional.

Además de capacitar para el perfil de investigador o docente en Física Teórica, esta asignatura ayuda al alumno en profesiones ligadas a otras materias como ciencias computacionales o biología.

## 3.- Recomendaciones previas

Es necesario estar familiarizado con la mecánica cuántica.

## 4.- Objetivos de la asignatura

Obtener un buen conocimiento de los conceptos básico y las herramientas de cálculo en teoría cuántica de campos.

## 5.- Contenidos

### Tema I: Funciones de Green

- Resolvente
- Propiedades analíticas
- Ecuación de Schrodinger y del calor
- Aplicación a potencial aleatorio. Teoría de perturbaciones.

### Tema II: Teoría clásica de campos

- Teoría clásica de campos lagrangiana y Hamiltoniana
- Simetrías y leyes de conservación
- Aplicación a leyes de Maxwell.

### Teoría III: Teoría cuántica de campos

- Segunda cuantización
- Cuantización de la ecuación de Schrodinger y de ondas
- Ecuación de Dirac en el grafeno
- Cuantización del campo electromagnético

### Tema IV: Diagramas de Feynman

- Representación de interacción
- Matriz S
- Funciones de Green
- Teorema de Wick
- Ecuación de Dyson
- Construcción de diagramas

### Tema V: Relación con mecánica estadística

- Funciones de Green con temperatura
- Integral de caminos para la función de partición
- Monte-Carlo cuántico
- Formalismo de Keldysh

## 6.- Competencias a adquirir

### Básicas Generales

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. Los estudiantes sabrán 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. Los estudiantes serán 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. Los estudiantes sabrán 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. Los estudiantes poseerán las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida auto-dirigido o autónomo.

#### Específicas

CE1. Los estudiantes deberán saber aplicar métodos destinados a interpretar y relacionar características de datos procedentes de la observación de fenómenos físicos, de los experimentos o de la teoría.

CE2. Los estudiantes deberán identificar y aplicar los métodos que permitan la descripción de sistemas de muchas partículas.

CE3. Los estudiantes profundizarán sus conocimientos en diferentes campos de la Física, entrando en contacto con problemas que son actualmente objeto de investigación.

CE4. Poseer conocimientos físicos y matemáticos avanzados que permitan cursar un Programa de Doctorado y realizar una tesis doctoral, desarrollando para ello la comprensión de los conceptos.

CE5. Capacidad para incorporarse a grupos de investigación e I+D+i en Física y Matemáticas a través de la interacción con los grupos de la Universidad de Salamanca especializados en dichos campos.

CE7. Profundizar en un tema de investigación y conocer los avances más recientes en alguna de las actuales líneas de investigación en el ámbito de la Física y las Matemáticas.

### 7.- Metodologías docentes

La asignatura se impartirá a través de clases magistrales teórico-prácticas con problemas subidos a la plataforma STUDIUM. En las clases prácticas se resolverán problemas seleccionados y se requerirá la participación activa del alumnado.

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

		Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
		Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales		30		30	60
Prácticas	En aula				
	En el laboratorio				
	En aula de informática				
	De campo				
De visualización (visu)					
Seminarios		7.5		2	9.5
Exposiciones y debates					
Tutorías					
Actividades de seguimiento online					
Preparación de trabajos				13	13
Otras actividades (evaluación)		7.5			7.5
Exámenes					
TOTAL		45		45	90

## 9.- Recursos

## Libros de consulta para el alumno

- F. Mandl and G. Shaw. Quantum Field Theory. John Wiley & Sons. 1984.
- M. E. Peskin and D. V. Schroeder. An Introduction to Quantum Field Theory. CRC Press. Taylor & Francis Group. 2019.
- J.J. Sakurai. Advanced Quantum Mechanics. Addison-Wesley P. C. 1967.
- L. H. Ryder. Quantum Field Theory. Cambridge University Press. 1985.

- M. Veltman. Diagrammatica. The path to Feynman Diagrams. Cambridge University Press. 1994.
- S. Weinberg. The Quantum Theory of Fields. Volumes I and II. Cambridge University Press. 1996.
- W. Greiner. J. Reinhardt. Field Quantization. Springer-Verlag. 1996.

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

- D. Tong. *Quantum Field Theory*. Lectures University of Cambridge. 2006.  
<http://damtp.cam.ac.uk/user/tong/qft.html>

## 10.- Evaluación

### Consideraciones Generales

La evaluación de las competencias de la materia se basará en el trabajo continuado, controlado periódicamente con diferentes instrumentos de evaluación, y conjuntamente con una prueba final escrita.

### Criterios de evaluación

La evaluación tendrá en cuenta la adquisición de las competencias de carácter teórico y práctico que se comprobará tanto por actividades de evaluación continua como por una prueba final escrita.

Las actividades de evaluación continua supondrán el 30% de la nota total de la asignatura.

La prueba escrita final será un 70% de la nota total de la asignatura. Para poder superar la

asignatura se requiere que la calificación obtenida en esta prueba supere el 40% de la nota máxima de la prueba.

#### Instrumentos de evaluación

Se utilizarán los siguientes:

##### Evaluación continua:

Elaboración y exposición de trabajos, ejercicios y problemas: Se valorará tanto la elaboración como la exposición de los mismos serán un 30% de la nota total de la asignatura.

##### Prueba escrita:

Al finalizar el curso se realizará un examen escrito que contendrá tanto preguntas de tipo conceptual como de problemas y en la que se evaluarán los objetivos de aprendizaje adquiridos por los estudiantes. Será un 70% de la nota total de la asignatura. Para poder superar la asignatura, se requiere que la calificación obtenida en esta prueba escrita supere el 40% de la nota máxima de la prueba.

#### Recomendaciones para la evaluación.

Para la adquisición de las competencias previstas en esta materia se recomienda la asistencia y participación activa en todas las actividades programadas.

#### Recomendaciones para la recuperación.

Se realizará una prueba escrita de recuperación que servirá para recuperar la parte de la nota correspondiente a la prueba escrita final.

## TEORÍA CUÁNTICA DE CAMPOS II

## 1.- Datos de la Asignatura

Código	305347	Plan	2016	ECTS	4,5
Carácter	Optativo	Curso	1º	Periodicidad	Semestral
Área	Física Atómica, Molecular y Nuclear				
Departamento	Física Fundamental				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Studium			
	URL de Acceso:	<a href="https://moodle2.usal.es/">https://moodle2.usal.es/</a>			

## Datos del profesorado

Profesor Coordinador	David Rodríguez Entem	Grupo / s	1
Departamento	Física Fundamental		
Área	Física Atómica, Molecular y Nuclear		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	T3336 (Ed. Trilingüe)		
Horario de tutorías	A concertar con el professor via email.		

URL Web			
E-mail	<a href="mailto:entem@usal.es">entem@usal.es</a>	Teléfono	923 294500 ext. 6123

Profesor	Vicent Mateu Barreda	Grupo / s	1
Departamento	Física Fundamental		
Área	Física Atómica, Molecular y Nuclear		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	Edificio Trilingüe, tercer piso, despacho nº 30		
Horario de tutorías	A concertar con el profesor via email.		
URL Web	<a href="https://diarium.usal.es/vmateu/">https://diarium.usal.es/vmateu/</a>		
E-mail	<a href="mailto:vmateu@usal.es">vmateu@usal.es</a>	Teléfono	923 294500 ext. 4767

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

### Bloque formativo al que pertenece la materia

La asignatura pertenece al Módulo III: Física Teórica cuyo objetivo es que el estudiante adquiera una formación que le permita elaborar teorías y modelos utilizando el lenguaje matemático, con la finalidad tanto de poder analizar como de predecir el comportamiento de los sistemas físicos.

### Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

La asignatura es una asignatura optativa del Plan de Estudios para la especialización en Física Teórica. Profundiza en aspectos introducidos en la asignatura Teoría Cuántica de Campos I y presenta nuevos temas. Es una herramienta importante para estudiantes interesados en Física de Partículas y en particular para estudiantes cursando la asignatura de Interacciones Fundamentales del mismo módulo.

### Perfil profesional.

Investigación en Física Teórica

## 3.- Recomendaciones previas

Es necesario haber cursado la asignatura Teoría Cuántica de Campos I del primer cuatrimestre y es aconsejable haber cursado la asignatura de Simetrías en Física.

#### 4.- Objetivos de la asignatura

El objetivo de esta asignatura es profundizar en el estudio de las teorías cuánticas de campos, para que los estudiantes comprendan los conceptos de regularización y renormalización, y su aplicación al estudio de teorías gauge no abelianas.

#### 5.- Contenidos

- 1.- Correcciones cuánticas. Regularización y renormalización. El grupo de renormalización.
- 2.- Teorías gauge no abelianas.
- 3.- Simetrías. Ruptura espontánea de simetría. Teorema de Goldstone. El mecanismo de Higgs.
- 4.- Anomalías y aplicaciones.
- 5.- Interpretación Wilsoniana del grupo de renormalización. Breve introducción a las teorías cuánticas de campos en el retículo.

#### 6.- Competencias a adquirir

Básicas/Generales

CB6, CB7, CB8, CB9, CB10
--------------------------

Específicas
-------------

CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE7
------------------------------

Transversales

### 7.- Metodologías docentes

La asignatura se desarrollará por medio de clases magistrales en las que se presentarán a los estudiantes los contenidos de la asignatura. Además, se desarrollarán una serie de seminarios en los que los estudiantes resolverán problemas o presentarán algún tema relacionado que deberán preparar previamente.

### 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

	Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
	Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales	16		16	32
Prácticas	En aula			
	En el laboratorio			
	En aula de informática			
	De campo			
	De visualización (visu)			
Seminarios	15		15	30
Exposiciones y debates				
Tutorías				
Actividades de seguimiento online				
Preparación de trabajos				
Otras actividades (detallar)				
Exámenes	14		14	28
<b>TOTAL</b>	<b>45</b>		<b>45</b>	<b>90</b>

### 9.- Recursos

#### Libros de consulta para el alumno

“An Invitation to Quantum Field Theory” L. Álvarez-Gaumé, M.A. Vázquez-Mozo, Lecture Notes in Physics 839.

“The Quantum Field Theory of Fields II”, S. Weinberg, Cambridge University Press

#### Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

“The Quantum Field Theory of Fields I”, S. Weinberg, Cambridge University Press

“Quantum Field Theory”, C. Itzykson, J.-B. Zuber, Dover Publications Inc.

“An Introduction to Quantum Field Theory”, M. Peskin, V. Schroeder, CRC Press.

<https://inspirehep.net/literature/1662374>

<http://www.damtp.cam.ac.uk/user/tong/qft.html>

[https://www.physics.utoronto.ca/~luke/PHY2403F/References\\_files/lecturenotes.pdf](https://www.physics.utoronto.ca/~luke/PHY2403F/References_files/lecturenotes.pdf)

[https://www.physics.utoronto.ca/~luke/PHY2403F/References\\_files/Dyson\\_AQM.pdf](https://www.physics.utoronto.ca/~luke/PHY2403F/References_files/Dyson_AQM.pdf)

## 10.- Evaluación

### Consideraciones Generales

La evaluación se realizará por medio de la presentación de trabajos en los seminarios, que corresponderá a la evaluación continua, y una prueba final.

### Criterios de evaluación

La ponderación de los sistemas de evaluación será:

Presentación de trabajos: 40%

Prueba final: 60%

### Instrumentos de evaluación

Trabajos realizados.

Presentación y defensa de los trabajos.

Prueba final. Podrá consistir en la realización de un trabajo y/o una prueba presencial.

### Recomendaciones para la evaluación.

Para poder evaluar la adquisición de las competencias previstas es aconsejable la asistencia y participación activa en todas las actividades programadas.

### Recomendaciones para la recuperación.

La parte de evaluación continua no será recuperable. La prueba final seguirá el mismo formato que en la primera convocatoria.

## ALGEBRA CONMUTATIVA Y HOMOLÓGICA

## 1.- Datos de la Asignatura

Código	305348	Plan		ECTS	4.5
Carácter	Optativo	Curso	2016-17	Periodicidad	semestral
Área	Algebra				
Departamento	Matemáticas				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Studium			
	URL de Acceso:				

## Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Fernando Sancho de Salas	Grupo / s	
Departamento	Matemáticas		
Área	Álgebra		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	M3316		

Horario de tutorías	Miércoles y Jueves de 17 a 20.		
URL Web			
E-mail	<a href="mailto:fsancho@usal.es">fsancho@usal.es</a>	Teléfono	923294943

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

Bloque formativo al que pertenece la materia

Módulo IV: Geometría de Variedades.

Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

Asignatura optativa del primer semestre del Plan de Estudios para la especialización en Geometría en Variedades.

Perfil profesional.

Docencia universitaria e investigación.

## 3.- Recomendaciones previas

Conocimiento básicos de estructuras algebraicas: grupos, anillos y módulos.

#### 4.- Objetivos de la asignatura

- Conocer y manejar técnicas algébricas y homológicas y sus aplicaciones a la geometría, proporcionando métodos homológicos para el estudio de las variedades.
- Familiarizarse con las nociones básicas de la teoría de categorías.
- Interpretar conceptos y propiedades algebraicas en términos de funtores.
- Operar en la categoría de módulos.
- Conocer los complejos de módulos y la (co)homología.
- Presentar la noción de functor derivado.
- Utilizar las resoluciones para el cálculo de grupos Ext y Tor.

#### 5.- Contenidos

Tema 1: Lenguaje de Categorías y Funtores.

Categorías, funtores y transformaciones naturales. Construcciones universales, representabilidad de funtores. Adjunción y Lema de Yoneda. Categorías abelianas.

Tema 2: Categoría de módulos.

Producto tensorial y localización. Propiedades locales. Módulos inyectivos, proyectivos y planos.

Tema 3: Categoría de Complejos.

Complejos de (co)cadenas. Módulos diferenciales. (Co)Homología. Sucesión exacta larga de (co)homología. Homotopía. Bicomplejos.

Tema 4: Funtores derivados.

Resoluciones. Los funtores Ext y Tor. Fórmula algebraica de dualidad.

Tema 5: Aplicaciones.

Complejo de Koszul. Sucesiones Regulares. Anillos regulares, Cohen-Macaulay y Gorenstein. Aplicaciones a la geometría.

**6.- Competencias a adquirir****Básicas**

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. Los estudiantes sabrán 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. Los estudiantes serán 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. Los estudiantes sabrán 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. Los estudiantes poseerán las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

**Generales**

CG1. Los estudiantes se familiarizarán con los diversos aspectos involucrados en la investigación, tales como: trabajo teórico; consulta de bibliografía, revistas y bases de datos especializadas; redacción de trabajos de investigación; comunicación, exposición, debate y publicación de resultados.

**Específicas**

CE1. Conocer las bases teóricas de la Física y Matemáticas.

CE2. Capacidad para utilizar teorías físicas y métodos matemáticos para modelar y estudiar problemas provenientes de diferentes campos científicos.

CE3. Capacidad para iniciarse en tareas de investigación interdisciplinar en Física y Matemáticas a nivel suficiente para iniciar un proyecto de investigación de forma supervisada en alguna de las áreas de la Física o Matemáticas.

CE4. Poseer conocimientos físicos y matemáticos avanzados que permitan cursar un Programa de Doctorado y realizar una tesis doctoral, desarrollando para ello la comprensión de los conceptos.

CE7. Profundizar en un tema de investigación y conocer los avances más recientes en alguna de las actuales líneas de investigación en el ámbito de la Física y las Matemáticas.

#### Transversales.

- Buscar información bibliográfica de forma autónoma.
- Comunicar conocimientos, tanto por escrito como de forma oral, con precisión y claridad.
- Desarrollar habilidades de aprendizaje para entender estudios posteriores

## 7.- Metodologías docentes

Las clases se desarrollarán de manera presencial en el aula, fomentando la participación activa del alumnado, mediante clases magistrales, donde se expondrán los conceptos y resultados fundamentales del programa, y seminarios, donde los estudiantes presentarán las tareas propuestas. Además, habrá un horario de tutoría semanal para que los estudiantes puedan plantear las dudas que surjan durante el desarrollo de la asignatura.

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

	Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
	Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales	30		30	60
Prácticas	- En aula			
	- En el laboratorio			
	- En aula de informática			
	- De campo			
	- De visualización (visu)			
Seminarios	5		10	15
Exposiciones y debates				
Tutorías	5		2.5	7.5
Actividades de seguimiento online				
Preparación de trabajos	5		15	20
Otras actividades (detallar)				
Exámenes				
<b>TOTAL</b>	<b>45</b>		<b>67.5</b>	<b>112.5</b>

## 9.- Recursos

## Libros de consulta para el alumno

- I. Bucur and A. Deleanu, “Introduction to the Theory of Categories and Functor”, Wiley 1970.
- S. Gelfand and Y. Manin, “Methods of Homological Algebra”, Springer-Verlag 2003.
- C. A. Weibel. “An Introduction to Homological Algebra”. Cambridge Univ. Press 1994.

S. Mac Lane, “Categories for the working mathematician”. Springer 1997.

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

M.F Atiyah, I.G Macdonal, ”Introducción al Álgebra Conmutativa”. Editorial Reverte.

F.W. Andersson and K.R. Fuller, “Rings and Categories of Modules”. Graduate Text in Mathematics. Springer-Verlag .

M. Kashiwara, P. Schapira, “Sheaves and manifolds”, Springer-Verlag 1990.

J.R. Munkres, “Elements of algebraic topology”. Addison-Wesley Publishing Company, Menlo Park, CA, 1984.

S. Mac Lane, “Homology”. Springer Verlag 1967.

## 10.- Evaluación

### Consideraciones Generales

Se evaluarán los conocimientos, así como las competencias adquiridas de la materia, basándose en el trabajo continuado del estudiante. La evaluación será continua con una prueba final.

### Criterios de evaluación

Se valorará la adquisición de los conocimientos y las competencias previstas por medio de actividades de evaluación continua: participación activa en las clases y realización de tareas propuestas (30% de la nota final). El 70% restante se evaluará en una prueba final.

### Instrumentos de evaluación

Para la evaluación continua:

- Exposiciones de tareas propuestas.

Para la prueba final cada estudiante deberá elegir entre:

- Examen presencial escrito, sobre los contenidos desarrollados en la asignatura.
- Realización, y su posterior exposición y defensa, de un trabajo escrito relacionado con los contenidos desarrollados en la asignatura.

Todas las actividades de evaluación (exposición de tareas, examen final, exposición y defensa de trabajos,...) se realizarán de manera presencial en el aula.

#### Recomendaciones para la evaluación.

Se aconseja la asistencia y participación activa en las actividades programadas.

#### Recomendaciones para la recuperación.

Incidir en las partes más débiles y aprovechar las tutorías con el profesor para mejorar el nivel.

## GEOMETRÍA ALGEBRAICA DE LA CURVA

### 1.- Datos de la Asignatura

Código	305349	Plan		ECTS	4,5
Carácter	Optativo	Curso	1º	Periodicidad	2ºCuatrimestre
Área	Geometría y Topología				
Departamento	Matemáticas				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Studium			
	URL de Acceso:	<a href="https://moodle.usal.es">https://moodle.usal.es</a>			

### Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Esteban Gómez González	Grupo / s	
Departamento	Matemáticas		
Área	Geometría y Topología		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	Planta baja del edificio de La Merced, M1322		
Horario de tutorías	Martes y Viernes de 12:00 a 14:00		

URL Web			
E-mail	<a href="mailto:esteban@usal.es">esteban@usal.es</a>	Teléfono	923 294949

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

Bloque formativo al que pertenece la materia

Módulo IV: Geometría de Variedades.

Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

Se trata de una asignatura optativa. Dentro del plan de estudios, contribuye de manera esencial al estudio de las curvas con técnicas de geometría algebraica.

## 3.- Recomendaciones previas

Haber cursado la asignatura Variedades Algebraicas

## 4.- Objetivos de la asignatura

Conocer las propiedades de las curvas algebraicas y de las superficies de Riemann.

Entender la teoría clásica de sistemas lineales y de las inmersiones proyectivas de las curvas algebraicas.

Conocer los problemas básicos relacionados con el móduli de curvas algebraicas.

Estudiar algunos otros problemas de móduli, como la construcción de los esquemas de Hilbert y de Picard o las nociones básicas sobre el móduli de fibrados.

## 5.- Contenidos

TEMA 1: Curvas algebraicas y superficies de Riemann.

TEMA 2: Teorema de Riemann-Roch y dualidad. Inmersiones proyectivas de las curvas algebraicas.

TEMA 3: Móduli de curvas algebraicas. Móduli de curvas elípticas.

TEMA 4: Otros problemas de móduli. Esquemas de Hilbert y de Picard.

TEMA 5: Introducción al móduli de fibrados vectoriales.

## 6.- Competencias a adquirir

### Básicas

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. Los estudiantes sabrán 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

CB9. Los estudiantes sabrán 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. Los estudiantes poseerán las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

### Generales

CG1. Los estudiantes se familiarizarán con los diversos aspectos involucrados en la investigación, tales como: trabajo teórico; consulta de bibliografía, revistas y bases de datos especializadas; redacción de trabajos de investigación; comunicación, exposición, debate y publicación de resultados.

### Específicas

CE2. Capacidad para utilizar teorías físicas y métodos matemáticos para modelar y estudiar problemas provenientes de diferentes campos científicos.

CE3. Capacidad para iniciarse en tareas de investigación interdisciplinar en Física y Matemáticas a nivel suficiente para iniciar un proyecto de investigación de forma supervisada en alguna de las áreas de la Física o Matemáticas.

CE4. Poseer conocimientos físicos y matemáticos avanzados que permitan cursar un Programa de Doctorado y realizar una tesis doctoral, desarrollando para ello la comprensión de los conceptos.

CE5. Capacidad para incorporarse a grupos de investigación e I+D+i en Física y Matemáticas a través de la interacción con los grupos de la Universidad de Salamanca especializados en dichos campos.

CE7. Profundizar en un tema de investigación y conocer los avances más recientes en alguna de las actuales líneas de investigación en el ámbito de la Física y las Matemáticas.

## 7.- Metodologías

Se fomentará la participación en las clases y el alumno ha de realizar un trabajo de estudio y ampliación para consolidar conocimientos, en particular, de la parte práctica. Por tanto, además de las clases magistrales que serán participativas, también habrá seminarios, exposición de trabajos y tutorías.

8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

		Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
		Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales		30		30	60
Prácticas	En aula				
	En el laboratorio				
	En aula de informática				
	De campo				
	De visualización (visu)				
Seminarios		5		2,5	7,5
Exposiciones y debates					
Tutorías		5		2,5	7,5
Actividades de seguimiento online					
Preparación de trabajos		5		2,5	7,5
Otras actividades (detallar)					
Exámenes					
TOTAL		45		37,5	82,5

9.- Recursos

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

[Harris, Joe; Morrison, Ian](#). Moduli of curves. [Grad. Texts in Math.](#), 187. *Springer-Verlag*, New York, 1998. xiv+366 pp. ISBN:0-387-98438-0

[Hartshorne, Robin](#) Algebraic geometry. Graduate Texts in Mathematics, No. 52. *Springer-*

Verlag, New York-Heidelberg, 1977. ISBN: 0-387-90244-9

[Iwasawa, Kenkichi](#) Algebraic functions. [Translations of Mathematical Monographs, 118.](#)

American Mathematical Society, Providence, RI, 1993. xxii+287 pp. ISBN: 0-8218-4595-0

Fulton, William Curvas algebraicas, Reverté, ISBN-13: 978-8429150759

[Mumford, D.](#); [Fogarty, J.](#); [Kirwan, F.](#) Geometric invariant theory. Third edition. Springer-Verlag, Berlin, 1994. xiv+292 pp. ISBN: 3-540-56963-4

## 10.- Evaluación

### Criterios de evaluación

Se valorará la adquisición de las competencias previstas por medio de las actividades de evaluación continua y del trabajo o examen final.

Las actividades de evaluación continua supondrán el 40% de la nota. La prueba final el 60% restante.

### Instrumentos de evaluación

Se utilizarán los siguientes:

**Evaluación continua:** Se valorará tanto la elaboración de los trabajos realizados, su rigor y claridad, así como su correcta exposición en clase. La valoración de los trabajos supondrá un 40% de la nota total de la asignatura.

**Prueba final:** Consistirá en un trabajo que versará sobre temas propuestos por el profesor o sugeridos por los propios alumnos.

### Recomendaciones para la evaluación.

Para la adquisición de las competencias previstas en esta materia se recomienda la asistencia y participación activa en todas las actividades programadas.

### Recomendaciones para la recuperación.

Incidir en las partes más débiles y aprovechar las tutorías con el profesor para mejorar el nivel.

## HACES Y COHOMOLOGÍA

### 1.- Datos de la Asignatura

Código	305350	Plan		ECTS	4.5
Carácter	Optativo	Curso	1º	Periodicidad	1er semestre
Área	Geometría y Topología				
Departamento	Matemáticas				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Studium			
	URL de Acceso:	<a href="https://moodle.usal.es">https://moodle.usal.es</a>			

### Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Daniel Hernández Ruipérez	Grupo / s	
Departamento	Matemáticas		
Área	Geometría y Topología		
Centro	Facultad de Ciencias		

Despacho	Planta Primera del edificio de La Merced, M2328		
Horario de tutorías	Lunes y martes de 10:00 a 12:00		
URL Web			
E-mail	<a href="mailto:ruiperez@usal.es">ruiperez@usal.es</a>	Teléfono	923 294950

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

Bloque formativo al que pertenece la materia

Módulo IV: Geometría de Variedades.

Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

Se trata de una asignatura optativa. Dentro del plan de estudios, contribuye de manera esencial al estudio de la teoría de haces y sus aplicaciones.

Perfil profesional.

## 3.- Recomendaciones previas

Ninguna

#### 4.- Objetivos de la asignatura

Traducir problemas y conceptos clásicos en términos de haces y cohomología. Expresar problemas de obstrucción de propiedades locales a propiedades globales en términos cohomológicos.

#### 5.- Contenidos

TEMA 1: Prehaces y haces.

TEMA 2: Cohomología de haces. Imágenes directas superiores.

TEMA 3: Clasificación de fibrados vectoriales.

TEMA 4: Anillos de cohomología.

TEMA 5: Introducción a las clases características.

#### 6.- Competencias a adquirir

Básicas

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. Los estudiantes sabrán 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

CB9. Los estudiantes sabrán 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. Los estudiantes poseerán las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

#### Básicas y Genéricas

CG1. Los estudiantes se familiarizarán con los diversos aspectos involucrados en la investigación, tales como: trabajo teórico; consulta de bibliografía, revistas y bases de datos especializadas; redacción de trabajos de investigación; comunicación, exposición, debate y publicación de resultados.

#### Específicas

CE1. Conocer las bases teóricas de la Física y Matemáticas.

CE2. Capacidad para utilizar teorías físicas y métodos matemáticos para modelar y estudiar problemas provenientes de diferentes campos científicos.

CE3. Capacidad para iniciarse en tareas de investigación interdisciplinar en Física y Matemáticas a nivel suficiente para iniciar un proyecto de investigación de forma supervisada en alguna de las áreas de la Física o Matemáticas.

CE4. Poseer conocimientos físicos y matemáticos avanzados que permitan cursar un Programa de Doctorado y realizar una tesis doctoral, desarrollando para ello la comprensión de los conceptos.

CE5: Capacidad para incorporarse a grupos de investigación e I+D+i en Física y Matemáticas a través de la interacción con los grupos de la Universidad de Salamanca especializados en

dichos campos

CE7: Profundizar en un tema de investigación y conocer los avances más recientes en alguna de las actuales líneas de investigación en el ámbito de la Física y las Matemáticas.

#### 7.- Metodologías docentes

Se fomentará la participación en las clases y el alumno ha de realizar un trabajo de estudio y ampliación para consolidar conocimientos, en particular, de la parte práctica. Por tanto, además de las clases magistrales que serán participativas, también habrá seminarios, exposición de trabajos y tutorías.

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

	Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
	Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales	30		30	60
Prácticas	En aula			
	En el laboratorio			
	En aula de informática			
	De campo			
	De visualización (visu)			
Seminarios	5		2,5	7,5
Exposiciones y debates				
Tutorías	5		2.5	7.5
Actividades de seguimiento online				
Preparación de trabajos	5		2,5	7,5
Otras actividades (detallar)				
Exámenes				
<b>TOTAL</b>	<b>45</b>		<b>37.5</b>	<b>82.5</b>

## 9.- Recursos

## Libros de consulta para el alumno

U. Bruzzo and B. Graña Otero: Derived Functors and Sheaf Cohomology, Contemporary Mathematics and its Applications: Monographs, Expositions and Lecture Notes. ISBN 9811207291, 9789811207297.

R. Godement: Topologie algébrique et théorie des faisceaux. Publications de l'Institut de Mathématique de l'Université de Strasbourg, XIII. Actualités Scientifiques et Industrielles, No. 1252. Hermann, Paris, 1973.

G.E. Bredon: Sheaf theory. Second edition. Graduate Texts in Mathematics, 170. Springer-

Verlag, New York, 1997. xii+502 pp.

J. Milnor, J.D. Stasheff: Characteristic Classes. Annals of Mathematical Studies 80, 1962.

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

## 10.- Evaluación

### Criterios de evaluación

Se valorará la adquisición de las competencias previstas por medio de las actividades de evaluación continua y del trabajo o examen final.

Las actividades de evaluación continua supondrán el 60% de la nota. La prueba final el 40% restante.

### Instrumentos de evaluación

Se utilizarán los siguientes:

**Evaluación continua:** Se valorará tanto la elaboración de los trabajos realizados, su rigor y claridad, así como su correcta exposición en clase. La valoración de los trabajos supondrá un 60% de la nota total de la asignatura.

**Trabajo o examen final:** Consistirá en un proyecto que versará sobre temas propuestos por el profesor o sugeridos por los propios alumnos.

### Recomendaciones para la evaluación.

Para la adquisición de las competencias previstas en esta materia se recomienda la asistencia y participación activa en todas las actividades programadas.

### Recomendaciones para la recuperación.

Incidir en las partes más débiles y aprovechar las tutorías con el profesor para mejorar el nivel.

## SUPERFICIES DE RIEMANN

### 1.- Datos de la Asignatura

Código	305351	Plan		ECTS	4'5
Carácter	Optativo	Curso		Periodicidad	C1
Área	Análisis Matemático				
Departamento	Matemáticas				
Plataforma Virtual	Plataforma:				
	URL de Acceso:				

### Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Jesús Rodríguez Lombardero	Grupo / s	
Departamento	Matemáticas		
Área	Análisis Matemático		
Centro	Facultad de Ciencias Químicas		
Despacho	Ed. Merced, M2327		
Horario de tutorías	Martes y miércoles 12 a 13:30, previa cita		

URL Web			
E-mail	jrl@usal.es	Teléfono	923294500, ext. 1566

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

Bloque formativo al que pertenece la materia
Geometría de variedades
Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.
Optativa
Perfil profesional.
Docencia universitaria e investigación.

## 3.- Recomendaciones previas

Conocimiento de las asignaturas de Análisis Matemático del Grado en Matemáticas.

## 4.- Objetivos de la asignatura

Alcanzar un conocimiento razonable de la teoría de las variedades complejas de dimensión 1.

## 5.- Contenidos

- Preliminares sobre superficies de Riemann. Generalizaciones de algunos teoremas sobre funciones en abiertos de  $\mathbf{C}$ .
- Aplicaciones holomorfas, propias y no constantes entre superficies de Riemann. Revestimientos ramificados. Extensión de aplicaciones holomorfas, propias y no constantes. La superficie de Riemann compacta asociada a una curva proyectiva algebraica irreducible.
- Existencia de solución para las ecuaciones no homogéneas de Cauchy-Riemann en un abierto  $U$  de  $\mathbf{C}$ . Nulidad de la cohomología (de Čech) de  $U$  con coeficientes en el haz de las funciones holomorfas. Teoremas de Mittag-Leffler y Weierstrass.
- Nulidad de la cohomología de un abierto relativamente compacto de una superficie de Riemann abierta con coeficientes en el haz de las funciones holomorfas. Lema de Weyl. Teorema de Behnke-Stein. Generalizaciones de los teoremas de Mittag-Leffler y Weierstrass.
- Finitud de la cohomología del haz de las funciones holomorfas en una superficie de Riemann compacta  $\mathcal{V}$ . Teorema de Riemann de existencia de funciones meromorfas no constantes en  $\mathcal{V}$ . Finitud de la cohomología del haz de las secciones holomorfas de un fibrado de línea holomorfo  $E$  en  $\mathcal{V}$ . Existencia de secciones meromorfas no idénticamente nulas de  $E$  en  $\mathcal{V}$ . Correspondencia entre divisores y fibrados de línea holomorfos. Teorema de dualidad de Serre. Teorema de Riemann-Roch.

## 6.- Competencias a adquirir

### Básicas/Generales.

CG1, CB6, CB7, CB9, CB10

### Específicas.

CE3, CE1, CE2, CE4, CE7

- Conocimiento de las nociones básicas sobre superficies de Riemann y los ejemplos importantes.
- Conocimiento de la relación existente entre los revestimientos ramificados holomorfos y las aplicaciones holomorfas, propia y no constantes entre superficies de Riemann.
- Saber que a toda curva proyectiva compleja, algebraica e irreducible se le puede asociar una superficie de Riemann compacta cuyo cuerpo de funciones meromorfas es isomorfo al cuerpo de funciones algebraicas sobre la curva.
- Manejar las nociones básicas sobre cohomología de Čech con coeficientes en un haz para poder aplicarlas a la comprensión y las demostraciones de los principales teoremas de existencia de funciones meromorfas en superficies de Riemann

### Transversales.

- Saber aplicar los conocimientos matemáticos a la resolución de problemas.
- Desarrollar habilidades de aprendizaje para aprender estudios posteriores.
- Saber comunicar conocimientos, tanto por escrito como de forma oral.

## 7.- Metodologías docentes

Clases magistrales.

Mediante esta fórmula se desarrollarán los contenidos teóricos en los que se incluyen las definiciones de los diferentes conceptos y su comprensión a partir de ejemplos. Se fijan así los conocimientos ligados a las competencias previstas y se da paso a la posible resolución de problemas sencillos relacionados con lo expuesto en las clases teóricas.

Trabajos personales.

A partir de esas clases teóricas y prácticas podrá proponerse a los estudiantes la realización de pequeños trabajos personales, contando con el apoyo del profesor. Los estudiantes podrán compartir en clase con sus compañeros y con el profesor las dudas que encuentren y obtener solución a las mismas.

Los trabajos entregados serán corregidos por el profesor y comentados posteriormente en las tutorías personales, con el fin de que puedan detectar sus posibles deficiencias, tanto de comprensión como de redacción.

Realización de exámenes

Exposiciones por escrito de partes de la teoría y posible resolución de problemas.

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

	Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
	Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales	20		30	
Prácticas	En aula	10	25	
	En el laboratorio			
	En aula de informática			
	De campo			
	De visualización (visu)			
Seminarios	8		12'5	
Exposiciones y debates				
Tutorías	3			
Actividades de seguimiento online				
Preparación de trabajos				
Otras actividades (detallar)				
Exámenes	4			
<b>TOTAL</b>	<b>45</b>		<b>67'5</b>	<b>112'5</b>

## 9.- Recursos

## Libros de consulta para el alumno

**Funciones de variables complejas**, por J. Muñoz Díaz. Apuntes. Univ. Salamanca.  
**Lectures on Riemann Surfaces**, por O. Forster. Springer. 1981.

## Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

- *Algebraic curves and Riemann Surfaces*, por R. Miranda. American Mathematical Society, 1995.
- *An Introduction to Riemann Surfaces*, por T. Napier and M. Ramachandran. Birkhauser, 2011.
- *Lectures on Riemann Surfaces*, por R. Gunning. Princeton Univ. Press, 1967.

- *Riemann Surfaces*, por L. Ahlfors y L. Sario. Princeton Univ. Press, 1960.
- *Riemann Surfaces*, por S. Donaldson. American Mathematical Society, 2011.
- *Riemann Surfaces by Way of Complex Analytic Geometry*, por D. Varolin. American Mathematical Society, 2011.

## 10.- Evaluación

### Consideraciones Generales

Se evaluará el nivel de conocimientos teóricos y prácticos adquirido. Se exigirá un mínimo en cada una de las actividades a evaluar y en cada bloque del temario, evitando así el desconocimiento absoluto de alguna parte de la materia y la no realización de las actividades.

### Criterios de evaluación

Un 70% de la puntuación definitiva podrá ser obtenida mediante presentaciones de trabajos por los alumnos, previamente a la prueba final. La evaluación final consistirá en la exposición de un tema de contenido teórico, y posiblemente con una parte práctica, designado por el profesor. La evaluación final constituirá un 30 % de la calificación total.

### Instrumentos de evaluación

- Exposiciones teóricas.
- Exposición de problemas.
- Exámenes escritos de teoría (conocimiento de conceptos, enunciados y razonamientos expuestos en las clases magistrales) y de problemas (resolución de enunciados análogos a los explicados en las clases prácticas y de cuestiones breves).

#### Recomendaciones para la evaluación.

En la preparación de la parte teórica es importante comprender (los conceptos, razonamientos, etc.) y evitar la memorización automática.

En cuanto a la preparación de problemas, es necesario ejercitarse con los problemas que aparecen en las listas entregadas por el profesor y en la bibliografía.

También se pueden resolver las dudas mediante el manejo de la bibliografía y acudiendo al profesor.

#### Recomendaciones para la recuperación.

Analizar los errores cometidos en las exposiciones por escrito y en los exámenes (acudiendo para ello a la revisión). Trabajar en su preparación con las mismas recomendaciones realizadas para la evaluación.

## MÉTODOS DE GEOMETRÍA DIFERENCIAL EN TEORÍAS GAUGE

## 1.- Datos de la Asignatura

Código	305352	Plan	2016	ECTS	4.5
Carácter	Optativa	Curso	1	Periodicidad	Semestral
Área	Geometría y Topología				
Departamento	Matemáticas				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Campus virtual de la Universidad de Salamanca			
	URL de Acceso:	Stadium.usal.es			

## Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Antonio López Almorox	Grupo / s	
Departamento	Matemáticas		
Área	Geometría y Topología		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	M3317 (Edif. de la Merced. Matemáticas)		

Horario de tutorías	Lunes, Martes, Miércoles y Jueves de 13 -14 h		
URL Web			
E-mail	alm@usal.es	Teléfono	923 294400 ext 1562

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

Bloque formativo al que pertenece la materia
Materias Optativas
Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.
Optativa
Perfil profesional.
Investigador

## 3.- Recomendaciones previas

Ninguna

## 4.- Objetivos de la asignatura

Los objetivos generales de la asignatura son, por una parte, presentar las ideas básicas de la teoría de grupos de Lie, al nivel necesario para el estudio de la teoría de conexiones en fibrados principales y, por otra, presentar el núcleo central de la geometría diferencial de fibrados principales, la teoría de conexiones y su aplicación a la formulación de las teorías de Yang-Mills.

## 5.- Contenidos

**1. GRUPOS Y ÁLGEBRAS DE LIE**

Definiciones. Ejemplos. Campos invariantes. Álgebra de Lie de un grupo de Lie. Trivialidad del fibrado tangente. Formas invariantes. Ecuaciones de estructura. Forma de Maurer-Cartan.

**2. MORFISMOS DE GRUPOS DE LIE Y SUBGRUPOS**

Morfismos de grupos de Lie. Ejemplos. Morfismos inducidos entre las álgebras de Lie. Propiedades. Subgrupos de Lie. Propiedades locales de los morfismos de grupos de Lie. Teorema del subgrupo cerrado.

**3. SUBGRUPOS UNIPARAMÉTRICOS Y APLICACIÓN EXPONENCIAL**

Subgrupos uniparamétricos de un grupo de Lie. Existencia de subgrupos uniparamétricos. Completitud de los campos invariantes. Aplicación exponencial. Propiedades. Aplicaciones al estudio de los grupos de Lie conexos. Estructura de los grupos de Lie abelianos.

**4. ACCIONES DE GRUPOS DE LIE. REPRESENTACIÓN ADJUNTA**

Acción de un grupo de Lie sobre una variedad. Órbitas. Grupo de isotropía. Acciones efectivas, libres y transitivas. Ejemplos. Campos fundamentales. Propiedades. Representaciones lineales de un grupo de Lie. Acción de un grupo sobre si mismo por automorfismos internos. Representación adjunta de un grupo de Lie. Representación adjunta del álgebra de Lie de un grupo de Lie.

**5. FIBRADOS. FUNCIONES DE TRANSICIÓN. FIBRADOS VECTORIALES**

Fibrados diferenciables. Funciones de transición asociadas a un recubrimiento trivializante. Condición de cociclo. Lemas de construcción de fibrados. Fibrados vectoriales. Functores diferenciables. Aplicación a la construcción de fibrados.

**6. FIBRADOS PRINCIPALES. SUBFIBRADOS. FIBRADOS INDUCIDOS**

Fibrados principales. Ejemplos. Trivializaciones y secciones locales. Funciones de transición de un recubrimiento trivializante. Morfismos de fibrados principales. Subfibrados. Reducción de un fibrado principal. Teorema de reconstrucción de fibrados principales mediante funciones de transición. Funciones de transición y reducciones.

**7. FIBRADOS ASOCIADOS A UN FIBRADO PRINCIPAL**

Fibrados asociados a un fibrado principal. Propiedades. Aplicaciones equivariantes y secciones

de un fibrado asociado. Fibrado vectorial asociado a una representación lineal. Fibrado adjunto.

#### 8. CONEXIONES SOBRE UN FIBRADO PRINCIPAL. FORMAS DE CONEXIÓN Y CURVATURA

Sucesión exacta vertical. Conexiones sobre un fibrado principal. Campos horizontales con respecto a una conexión. Levantamiento horizontal de un campo. Formas equivariantes, horizontales y básicas. Forma de conexión. Derivada exterior covariante. Curvatura de una conexión. Ecuación de estructura de Maurer-Cartan. Identidad de Bianchi. Descripción local de las 1-formas de conexión.

#### 9. CONEXIONES LINEALES INDUCIDAS EN FIBRADOS VECTORIALES ASOCIADOS

Conexiones lineales inducidas por una conexión en un fibrado principal en sus fibrados vectoriales asociados. Curvatura de las conexiones inducidas. Equivalencia entre las conexiones lineales en un fibrado vectorial y las conexiones sobre su fibrado de referencias. Conexiones en el fibrado de referencias de una variedad y conexiones lineales en la variedad. Forma fundamental. Forma de torsión. Ecuaciones de estructura. Identidades de Bianchi. Equivalencia con la formulación mediante conexiones lineales.

#### 10. FORMULACIÓN DE LAS TEORÍAS DE YANG-MILLS

Operador estrella de Hodge. Funcional de Yang-Mills. Ecuaciones de Euler-Lagrange para el funcional de Yang-Mills. Instantones.

### 6.- Competencias a adquirir

Básicas/Generales.

Las que figuran en la memoria del título: CB6, CB7, CB9, CB10, CG1

**Transversales.**

- Buscar información bibliográfica de forma autónoma.
- Presentar ideas en público con claridad.
- Redactar con precisión y claridad contenidos científicos.

**Específicas.**

Las que aparecen reflejadas en la memoria del título: CE1, CE2, CE3, CE4, CE6, CE7.

Además:

- Conocer y manejar los resultados básicos de la teoría de grupos de Lie.
- Decidir si un grupo es un grupo de Lie.
- Determinar el álgebra de Lie de un grupo de Lie,
- Conocer los resultados centrales de la geometría diferencial de fibrados principales y la teoría de conexiones.
- Conocer la formulación geométrica de las teorías de Yang-Mills.

**7.- Metodologías docentes**

El aprendizaje se articulará en las siguientes actividades:

- 1. Clases presenciales. En estas clases se mostrarán a los estudiantes los conceptos y resultados fundamentales del programa. Se comentarán los puntos clave de las demostraciones cuyo desarrollo detallado, en algunos casos, será objeto de trabajos individuales que realizarán los estudiantes. Asimismo se plantearán y resolverán ejercicios que ayuden a la comprensión de la teoría.
- 2. Seminarios. Cada estudiante presentará un trabajo individualizado al resto de los estudiantes en un seminario. El objetivo de esta actividad es comprobar que el estudiante es capaz de comunicar con claridad los conocimientos y los argumentos que los sustentan al resto de sus compañeros y al profesor.
- 3. Trabajos. En esta actividad no presencial el estudiante elaborará, bajo la supervisión del profesor, los trabajos individuales y colectivos propuestos, los cuales serán entregados al profesor con el propósito de que el estudiante consiga las habilidades que le permitan seguir estudiando e investigando de forma autónoma, así como trabajar en grupo.
- 4. Tutorías. Se programarán varias horas de tutoría semanales para que el estudiante pueda resolver cuestiones y dudas que le puedan surgir en el proceso de aprendizaje. Estas tutorías son voluntarias.

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

		Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
		Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales		30		30	60
Prácticas	En aula				
	En el laboratorio				
	En aula de informática				
	De campo				
De visualización (visu)					
Seminarios		10		22.5	32.5
Exposiciones y debates					
Tutorías					
Actividades de seguimiento online					
Preparación de trabajos		5		15	20
Otras actividades (detallar)					
Exámenes					
<b>TOTAL</b>		<b>45</b>		<b>67.5</b>	<b>112.5</b>

## 9.- Recursos

### Libros de consulta para el alumno

1) D. Bleeker, Gauge theory and variational principles. Addison-Wesley Publishing Co., Reading, Mass., 1981. xviii+179 pp.

Los tres primeros capítulos cubren desde los preliminares sobre formas valoradas, grupos y álgebras de Lie, hasta la teoría de fibrados principales y conexiones. Los estudiantes interesados en conocer en profundidad las teorías gauge pueden encontrar en esta referencia toda la información necesaria.

2) Y. Choquet-Bruhat, C. DeWitt-Morette, M. Dillard-Bleick, Analysis, manifolds and physics.

North-Holland Publishing Co., Amsterdam-New York, 1982. xx+630 pp.

Pueden consultarse para los grupos de Lie las secciones C y D del capítulo II, así como los problemas resueltos en los que se estudian en detalle los grupos clásicos. También son adecuadas la sección B.2 del capítulo II y el Vbis, en los que se tratan los fibrados y las conexiones en fibrados principales, respectivamente.

3) Y. Choquet-Bruhat, C. DeWitt-Morette, Analysis, manifolds and physics. Part II. 92 applications, North-Holland Publishing Co., Amsterdam, 1989. xii+449 pp.

En esta segunda parte del libro anterior se incluyen 92 problemas resueltos, que van desde los grupos de Lie y espacios homogéneos, pasando por las álgebras de Lie de los grupos lineales hasta las transformaciones gauge, la característica de Euler-Poincaré de un fibrado y las formas de Chern-Simons.

4) P.M. Gadea, J. Muñoz-Masqué, Analysis and algebra on differentiable manifolds: A workbook for students and teachers. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherland, 2001. xviii+478pp.

Este libro de ejercicios contiene temas dedicados a los grupos y álgebras de Lie, fibrados principales y conexiones.

5) S. Kobayashi, K. Nomizu, Foundations of differential geometry. Vol. I. Wiley-Interscience, New York, USA, 1963. xi+329pp.

Las secciones 3 y 5 del capítulo I están dedicadas a los grupos de Lie y los fibrados principales, con un nivel similar al del curso. En los capítulos II y III se estudia la teoría de conexiones en profundidad y con gran rigor.

6) I. Kolár, P. Michor, J. Slovák, Natural operations in differential geometry. Springer-Verlag, Berlin, 1993. vi+434 pp.

El primer capítulo contiene una buena introducción a los grupos de Lie con multitud de ejemplos. En el tercer capítulo se trata la teoría de fibrados diferenciables y conexiones de Ehresmann, incluyendo también las conexiones principales con un nivel similar al del curso.

6) J. M. Lee, Introduction to smooth manifolds, second edition. Springer-Verlag, Berlin,, 2013. xv+708 pp.

Este libro puede usarse como referencia de consulta para los resultados previos de Geometría Diferencial. Además, los capítulos 7, 20 y 21 pueden ser útiles para la teoría de grupos de Lie, mientras que el capítulo 10 está dedicado al estudio de los fibrados vectoriales.

7) M. M. Postnikov, Leçons de géométrie: géométrie différentielle. Mir, Moscú, 1990. 439 pp.

Pueden consultarse los capítulos 1, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 21, que cubren todos los aspectos que trataremos en el curso, incluyendo multitud de ejemplos.

8) F.W. Warner, Foundations of differentiable manifolds and Lie groups. Springer-Verlag, New York, 1983. viii+272pp.

La teoría de grupos de Lie se trata de una forma clara, formal y moderna, con sus correspondientes ejemplos y ejercicios en el capítulo 3. También puede consultarse el capítulo 2 para los fibrados vectoriales.

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

Pendientes de su adquisición por la biblioteca Abraham Zacut:

- a) Dominique Chevallier, Introduction à la théorie des groupes de Lie réels. Mathématiques à l'Université. Ellipses Ed. 2006.
- b) Domenico Perrone. Un'Introduzione alla Geometria Riemanniana, Aracne Editrice 2011,
- c) Gerd Rudolph y Matthias Schmidt, Differential Geometry and Mathematical Physics: Part I: Manifolds, Lie Groups and Hamiltonian Systems, Springer. 2014.
- d) Gerd Rudolph y Matthias Schmidt, Differential Geometry and Mathematical Physics: Part II: Fibre Bundles, Topology and Gauge Fields. Springer. 2018.
- e) Stephen Bruce Sontz, Principal Bundles: The Classical Case. Universitext. Springer. 2015.

Se utilizarán los siguientes recursos:

- Biblioteca “Abraham Zacut” de la Universidad de Salamanca.
- Internet: En particular la base de datos “MathSciNet”, las revistas de acceso electrónico de la Universidad de Salamanca y el archivo de preprints “ArXiv.org”.

## 10.- Evaluación

### Consideraciones Generales

La evaluación de la adquisición de las competencias de la materia se basará en el trabajo continuado del estudiante, controlado periódicamente con diversos instrumentos de evaluación.

**Criterios de evaluación**

La evaluación valorará los siguientes aspectos:

Realización de los trabajos individuales y colectivos. Esta parte contabilizará un 80% de la nota final.

Exposición de un trabajo propuesto por el profesor. Esta segunda parte contabilizará un 20% de la nota final.

**Instrumentos de evaluación**

Los trabajos realizados por los estudiantes y las exposiciones orales realizadas.

**Recomendaciones para la evaluación.**

Seguir las actividades programadas en el desarrollo de la materia.

**Recomendaciones para la recuperación.**

Se realizará un nuevo trabajo.

## VARIEDADES ANALÍTICAS

### 1.- Datos de la Asignatura

Código	305353	Plan	2016	ECTS	4.5
Carácter	Optativa	Curso		Periodicidad	Semestral
Área	Análisis Matemático				
Departamento	Matemáticas				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Studium (Campus virtual de la USAL)			
	URL de Acceso:	<a href="http://moodle.usal.es">http://moodle.usal.es</a>			

### Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Jesús Rodríguez Lombardero	Grupo / s	
Departamento	Matemáticas		
Área	Análisis Matemático		
Centro	Facultad de Ciencias Químicas		
Despacho	Lunes y miércoles de 9-11, previa cita		
Horario de tutorías	L, X, J: 9-11, previa cita con los alumnos		

URL Web	<a href="http://mat.usal.es">http://mat.usal.es</a>		
E-mail	<a href="mailto:jrl@usal.es">jrl@usal.es</a>	Teléfono	923294500, ext. 1566

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

Bloque formativo al que pertenece la materia
Ampliación de Ecuaciones Diferenciales
Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.
Optativa.
Perfil profesional.
<u>Académico</u> <ul style="list-style-type: none"><li>• Docencia Universitaria e Investigación</li></ul>

## 3.- Recomendaciones previas

Haber cursado las asignaturas de la especialidad de Matemáticas en el primer cuatrimestre del máster.

## 4.- Objetivos de la asignatura

Aplicar la teoría de operadores elípticos a la teoría de formas armónicas.

Identificar los principales ejemplos de variedades analíticas.

Determinar la cohomología de Dolbeault de variedades analíticas.

Aplicar los resultados básicos de la teoría de variedades Kähler.

Utilizar la teoría de Hodge para obtener propiedades geométricas de las variedades Kähler.

Estudiar las propiedades algebraicas de los anillos de gérmenes de funciones holomorfas.

## 5.- Contenidos

- Funciones holomorfas de varias variables complejas. Formas diferenciales complejas. Teorema de Dolbeault-Grothendieck.
- Espacios de Sobolev. Teoremas de regularidad y finitud para operadores diferenciales elípticos. Teoría de Hodge en variedades reales.
- Teoría de formas armónicas en variedades complejas compactas.
- Variedades de Kähler. Fórmulas fundamentales. Cohomología real y cohomología de formas holomorfas en variedades kählerianas compactas.
- Teoremas de preparación y división de Weierstrass. Propiedades algebraicas de los anillos de gérmenes de funciones holomorfas. Gérmenes de conjuntos analíticos.

## 6.- Competencias a adquirir

**Básicas/Generales.**

CB6, CB7, CB9, CB10, CG1

**Transversales.***Instrumentales:*

Capacidad de organizar y planificar.

Identificación de problemas y planteamiento de estrategias de solución.

Habilidades para recuperar y analizar información desde diferentes fuentes.

*Interpersonales:*

Comunicación de conceptos abstractos.

Argumentación racional.

Capacidad de aprendizaje.

Inquietud por la calidad.

*Sistémicas:*

Creatividad.

Habilidad para trabajar en equipos multidisciplinares.

Planificar y dirigir.

**Específicas.**

CE1, CE2, CE3, CE4, CE7

## 7.- Metodologías docentes

### Clases magistrales

Mediante esta fórmula se desarrollarán los contenidos teóricos, siguiendo apuntes y uno o dos libros de referencia; se definen los diferentes conceptos, se establecen los resultados fundamentales y se dan ejemplos que faciliten la comprensión de la teoría. También se podrán proponer problemas para resolver.

### Entrega de trabajos personales y seminarios tutelados

Se podrá proponer a los estudiantes la realización de trabajos personales, contando con el apoyo del profesor en seminarios tutelados. En esos seminarios los estudiantes podrán compartir con sus compañeros y con el profesor las dudas que encuentren, obtener solución a las mismas y comenzar a desempeñar por si mismos las competencias del módulo.

Los trabajos entregados serán corregidos por el profesor y comentados posteriormente en las tutorías personales, con el fin de que puedan detectar sus posibles deficiencias, tanto de comprensión como de redacción.

### Trabajo personal

Además, los estudiantes tendrán que desarrollar por su parte un trabajo personal de estudio y asimilación de la teoría, resolución de problemas y preparación de los trabajos propuestos.

### Exposición de trabajos

Se podrán realizar exposiciones de partes de la teoría ya explicada por el profesor, o de algún enunciado cuya demostración hubiera quedado pendiente para: o bien, en casos sencillos, ser obtenida por los propios alumnos o bien ser consultada en alguno de los textos de la bibliografía. Se expondrán, además, los trabajos ante el profesor y el resto de compañeros, comentándolos luego en una tutoría personal entre estudiante y profesor.

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

		Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
		Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales					
Prácticas	En aula	30		30	60
	En el laboratorio				
	En aula de informática				
	De campo				
	De visualización (visu)				
Seminarios		5		10	15
Exposiciones y debates		5		15	20
Tutorías		5		2.5	7.5
Actividades de seguimiento online					
Preparación de trabajos					
Otras actividades (detallar)					
Exámenes					
<b>TOTAL</b>		<b>45</b>		<b>67.5</b>	<b>112.5</b>

## 9.- Recursos

## Libros de consulta para el alumno

- Gunning, R. C.; Rossi, H.: Analytic functions of several complex variables. Prentice-Hall, 1965.
- Muñoz Díaz, J.: Funciones de variables complejas (apuntes).
- Taylor, J. L.: Several complex variables with connectios to algebraic geometry and Lie groups. Graduate Studies in Mathematics, 46. AMS, 2002.
- Wells, R. O.: Differential analysis on complex manifolds. Springer, 1980.

**Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.**

- Hörmander, L.: Linear partial differential operators, Springer-Verlag, 1969.
- Hörmander, L.: An introduction to complex analysis in several variables. Van Nostrand Reinhold Co., 1966.

**10.- Evaluación**

Las pruebas de evaluación que se diseñen deben evaluar si se han adquirido las competencias descritas, por ello, es recomendable que al describir las pruebas se indiquen las competencias y resultados de aprendizaje que se evalúan.

**Consideraciones Generales**

Se evaluará el nivel adquirido en las competencias y destrezas expuestas, así como el logro de los objetivos propuestos. Se exigirá una nota mínima en cada grupo de actividades a evaluar y en cada bloque del temario, evitando así el desconocimiento absoluto de alguna parte de la materia y la no realización de las actividades.

**Criterios de evaluación**

Un 70% de la puntuación definitiva podrá ser obtenida mediante presentaciones de trabajos por los alumnos, previamente a la prueba final. La evaluación final consistirá en la exposición de un tema de contenido teórico, y posiblemente con una parte práctica, designado por el profesor. La evaluación final constituirá un 30 % de la calificación total.

**Instrumentos de evaluación**

*Actividades a evaluar*

- • Exposiciones teóricas.
- • Exposición de problemas.
- • Exámenes escritos:
  - - De teoría (conocimiento de conceptos, enunciados y razonamientos expuestos en las clases magistrales)
  - - De problemas (resolución de enunciados análogos a los explicados en las clases prácticas y de cuestiones breves).

#### Recomendaciones para la evaluación.

- En todo momento la asistencia a las clases y seminarios es altamente recomendable.
- Una vez que el profesor entrega los trabajos corregidos, analizar los errores cometidos, tanto individualmente, como acudiendo a las tutorías.
- Ensayo previo de la exposición de los trabajos, para detectar las posibles deficiencias en el entendimiento de los conceptos, así como en la forma de expresión.
- Resolver las dudas mediante el manejo de bibliografía, discusiones con los compañeros o acudiendo al profesor.

#### Recomendaciones para la recuperación.

- Analizar los errores cometidos en los exámenes y en los trabajos (acudiendo para ello a la revisión).
- Trabajar en su preparación con las mismas recomendaciones realizadas para la evaluación.

## VARIEDADES ALGEBRAICAS

### 1.- Datos de la Asignatura

Código	305354	Plan		ECTS	4,5
Carácter	Optativo	Curso	1º	Periodicidad	1ºCuatrimestre
Área	Geometría y Topología				
Departamento	Matemáticas				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Studium			
	URL de Acceso:	<a href="https://moodle.usal.es">https://moodle.usal.es</a>			

### Datos del profesorado

Profesor Coordinador	Francisco José Plaza Martín	Grupo / s	
Departamento	Matemáticas		
Área	Geometría y Topología		
Centro	Facultad de Ciencias		
Despacho	M-1320 Edificio de la Merced		

Horario de tutorías	Lunes, martes y miércoles de 11:00 a 13:00		
URL Web	<a href="http://mat.usal.es/~fplaza/">http://mat.usal.es/~fplaza/</a>		
E-mail	<a href="mailto:fplaza@usal.es">fplaza@usal.es</a>	Teléfono	923294945

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

Bloque formativo al que pertenece la materia

Módulo IV: Geometría de Variedades.

Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

Se trata de una asignatura optativa. Dentro del plan de estudios, contribuye de manera esencial al estudio de variedades con técnicas de geometría algebraica.

## 3.- Recomendaciones previas

Es necesario haber conocido los contenidos de las asignaturas de “Álgebra Conmutativa” y “Geometría Algebraica Afin”. Es recomendable haber cursado “Geometría Algebraica” y “Topología Algebraica” en el Grado.

#### 4.- Objetivos de la asignatura

- Conocer las variedades algebraicas afines.
- Saber usar las propiedades y construcciones básicas de los esquemas.
- Manejar los haces cuasicoherentes y coherentes.
- Entender aspectos clásicos de geometría en términos de divisores y haces de línea. En particular, en el caso del espacio proyectivo.

#### 5.- Contenidos

TEMA 1: Variedades algebraicas afines: Espectro de un anillo. Topología de Zariski. Fórmula de la fibra.  
TEMA 2: Esquemas: Espacios anillados en anillos locales. Esquemas afines. Esquemas. Construcciones de esquemas. Esquemas proyectivos. Morfismos de esquemas: morfismos separados, propios y proyectivos. Diferenciales.  
TEMA 3: Divisores y haces de línea. Cohomología de haces coherentes y cuasi-coherentes. Estudio del caso afín y proyectivo. Teorema de Serre. Teorema de finitud. Teorema de Semicontinuidad. Teorema de cambio de base.  
TEMA 4: Construcción de la grassmaniana de un haz de módulos.

#### 6.- Competencias a adquirir

**Básicas**

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. Los estudiantes sabrán 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

CB9. Los estudiantes sabrán 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. Los estudiantes poseerán las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

**Genéricas**

CG1. Los estudiantes se familiarizarán con los diversos aspectos involucrados en la investigación, tales como: trabajo teórico; consulta de bibliografía, revistas y bases de datos especializadas; redacción de trabajos de investigación; comunicación, exposición, debate y publicación de resultados.

**Específicas**

CE1. Conocer las bases teóricas de la Física y Matemáticas.  
CE2. Capacidad para utilizar teorías físicas y métodos matemáticos para modelar y estudiar problemas provenientes de diferentes campos científicos.  
CE3. Capacidad para iniciarse en tareas de investigación interdisciplinar en Física y Matemáticas a nivel suficiente para iniciar un proyecto de investigación de forma supervisada en alguna de las áreas de la Física o Matemáticas.  
CE4. Poseer conocimientos físicos y matemáticos avanzados que permitan cursar un Programa de Doctorado y realizar una tesis doctoral, desarrollando para ello la comprensión de los conceptos.  
CE7. Profundizar en un tema de investigación y conocer los avances más recientes en alguna de las actuales líneas de investigación en el ámbito de la Física y las Matemáticas

## 7.- Metodologías

Se fomentará la participación en las clases y el alumno ha de realizar un trabajo de estudio y ampliación para consolidar conocimientos, en particular, de la parte práctica.  
Por tanto, además de las clases magistrales que serán participativas, también habrá seminarios, exposición de trabajos y tutorías.

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

		Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
		Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales		30		30	60
Prácticas	En aula				
	En el laboratorio				
	En aula de informática				
	De campo				
De visualización (visu)					
Seminarios		5		2,5	7,5
Exposiciones y debates					
Tutorías		5		2,5	7,5
Actividades de seguimiento online					
Preparación de trabajos		5		2,5	7,5
Otras actividades (detallar)					
Exámenes					
TOTAL		45		37,5	82,5
9.- Recursos					

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Görtz, Ulrich; Wedhorn, Torsten, Algebraic Geometry I, Vieweg+Teubner, ISBN 978-3-8348-0676-5</li> <li>• Hartshorne, Robin Algebraic geometry. Graduate Texts in Mathematics, No. 52. Springer-Verlag, New York-Heidelberg, 1977. ISBN: 0-387-90244-9</li> <li>• Mumford, David The red book of varieties and schemes. Second, expanded edition. Lecture Notes in Mathematics, 1358. Springer-Verlag, Berlin, 1999. ISBN: 3-540-63293-X</li> <li>• Grothendieck, A.; Dieudonné, J. A. Eléments de géométrie algébrique. I. Grundlehren der Mathematischen Wissenschaften 166. Springer-Verlag, Berlin, 1971. ISBN: 3-540-05113-9</li> </ul>

## 10.- Evaluación

### Criterios de evaluación

Se valorará la adquisición de las competencias previstas por medio de las actividades de evaluación continua y del trabajo o examen final.

Las actividades de evaluación continua supondrán el 60% de la nota. La prueba final el 40% restante.

### Instrumentos de evaluación

Se utilizarán los siguientes:

**Evaluación continua:** Se valorará tanto la elaboración de los trabajos realizados, su rigor y claridad, así como su correcta exposición en clase. La valoración de los trabajos supondrá un 60% de la nota total de la asignatura y la exposición de temas un 40%.

**Trabajo final:** Consistirá en un proyecto que versará sobre temas propuestos por el profesor o sugeridos por los propios alumnos.

### Recomendaciones para la evaluación.

Para la adquisición de las competencias previstas en esta materia se recomienda la asistencia y participación activa en todas las actividades programadas.

### Recomendaciones para la recuperación.

Incidir en las partes más débiles y aprovechar las tutorías con el profesor para mejorar el nivel.

## MÓDULO V: TRABAJO FIN DE MÁSTER

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

## 1.- Datos de la Asignatura

Código	305355	Plan	2016	ECTS	15
Carácter	TFM	Curso	1º	Periodicidad	
Área	Álgebra; Análisis Matemático; Geometría y Topología; Estadística e Investigación Operativa; Matemática Aplicada; Electromagnetismo; Electrónica; Física Aplicada, Física Atómica, Molecular y Nuclear; Física Teórica; Óptica				
Departamento	Depto. Física Aplicada, Depto. Física Fundamental, Depto. Matemáticas, Depto. Matemática Aplicada; Depto. Estadística				
Plataforma Virtual	Plataforma:	Studium			
	URL de Acceso:	<a href="https://moodle.usal.es">https://moodle.usal.es</a>			

## Datos del profesorado

Cada trabajo fin de máster tendrá un tutor asignado entre los profesores del Máster.

## 2.- Sentido de la materia en el plan de estudios

Bloque formativo al que pertenece la materia

Trabajo Fin de Máster

Papel de la asignatura dentro del Bloque formativo y del Plan de Estudios.

Esta asignatura permite completar las competencias previstas para el estudiante del Máster, al tiempo que adquirir el máximo grado de especialización posible de cara a su iniciación como investigador.

Perfil profesional.

A través de esta asignatura el estudiante adquiere una formación avanzada y especializada que facilita su acceso a los Programas de Doctorado en Física y Matemáticas.

## 3.- Recomendaciones previas

Para la presentación y defensa del TFM se requerirá que el estudiante haya superado el resto de asignaturas del plan de estudios.

## 4.- Objetivos de la asignatura

A través de esta asignatura el estudiante aprenderá a desarrollar, presentar y defender de una manera adecuada ante una audiencia científica un trabajo relacionado con los contenidos

**del Máster Universitario en Física y Matemáticas****5.- Contenidos**

De acuerdo con el Reglamento de Trabajos Fin de Grado y Máster de la Universidad de Salamanca (Aprobado por el Consejo de Gobierno de la Universidad en su sesión de 27 de julio de 2010), el contenido de cada TFG o TFM podrá corresponder a uno de los siguientes tipos:

Trabajos experimentales o teóricos relacionados con la titulación y ofertados por los docentes que participan en el Máster Universitario, que podrán desarrollarse en los laboratorios de los departamentos implicados en la docencia del Máster.

Trabajos de revisión e investigación bibliográfica centrados en diferentes campos relacionados con la titulación.

Los TFG/TFM podrán adaptarse a dos modalidades:

- 1) Generales, si son propuestos para que a la vez puedan ser realizados autónomamente por un número no determinado de estudiantes.
- 2) Específicos, cuando se ofertan para que los realice un único estudiante.

**6.- Competencias a adquirir****Básicas /Generales**

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. Los estudiantes sabrán 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. Los estudiantes serán 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. Los estudiantes sabrán 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. Los estudiantes poseerán las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

CG1. Los estudiantes se familiarizarán con los diversos aspectos involucrados en la investigación, tales como: trabajo teórico; consulta de bibliografía, revistas y bases de datos especializadas; redacción de trabajos de investigación; comunicación, exposición, debate y publicación de resultados.

Genéricas

Específicas

- CE1. Conocer las bases teóricas de la Física y las Matemáticas.
- CE2. Capacidad para utilizar teorías físicas y métodos matemáticos para modelar y estudiar problemas provenientes de diferentes campos científicos.
- CE3. Capacidad para iniciarse en tareas de investigación interdisciplinar en Física y Matemáticas.
- CE4. Poseer conocimientos físicos y matemáticos avanzados que permitan cursar un Programa de Doctorado y realizar una tesis doctoral, desarrollando para ello la comprensión de los conceptos.
- CE5. Capacidad para incorporarse a grupos de investigación e I+D+i en Física y Matemáticas a través de la interacción con los grupos de la Universidad de Salamanca especializados en dichos campos.
- CE6. Capacidad para contribuir a las aplicaciones de la Física y las Matemáticas en empresas de innovación tecnológica.
- CE7. Profundizar en un tema de investigación y conocer los avances más recientes en alguna de las actuales líneas de investigación en el ámbito de la Física y las Matemáticas.

## 7.- Metodologías

Trabajo tutelado por un profesor del Máster

## 8.- Previsión de distribución de las metodologías docentes

	Horas dirigidas por el profesor		Horas de trabajo autónomo	HORAS TOTALES
	Horas presenciales.	Horas no presenciales.		
Sesiones magistrales				
Prácticas	En aula			
	En el laboratorio			
	En aula de informática			
	De campo			
De visualización (visu)				
Seminarios				
Exposiciones y debates				
Tutorías	30		309	339
Actividades de seguimiento online				
Preparación de trabajos				
Otras actividades (detallar)				
Exámenes	1		35	36
<b>TOTAL</b>	<b>31</b>		<b>344</b>	<b>375</b>

## 9.- Recursos

Otras referencias bibliográficas, electrónicas o cualquier otro tipo de recurso.

El tutor asignado a cada estudiante será el encargado de informarle de la bibliografía necesaria para la realización del trabajo fin de Máster.

**10.- Evaluación****Consideraciones Generales**

Para superar esa asignatura el estudiante deberá presentar, exponer oralmente y defender una memoria sobre el trabajo realizado.

**Criterios de evaluación**

Se evaluará la presentación, la exposición oral y la defensa de la memoria sobre el trabajo realizado.

**Instrumentos de evaluación**

Presentación de la memoria: supondrá entre 40 y 70% de la nota de la asignatura  
Exposición oral de la memoria: supondrá entre 15 y 40% de la nota de la asignatura  
Defensa de la memoria: supondrá entre 20 y 50% de la nota de la asignatura

**Recomendaciones para la evaluación.****Recomendaciones para la recuperación.**