

**FICHA IDENTIFICATIVA****Datos de la Asignatura**

<b>Código</b>	43298
<b>Nombre</b>	Relatividad General
<b>Ciclo</b>	Máster
<b>Créditos ECTS</b>	6.0
<b>Curso académico</b>	2023 - 2024

**Titulación(es)**

<b>Titulación</b>	<b>Centro</b>	<b>Curso</b>	<b>Periodo</b>
2150 - Máster Universitario en Física Avanzada	Facultad de Física	1	Primer cuatrimestre

**Materias**

<b>Titulación</b>	<b>Materia</b>	<b>Carácter</b>
2150 - Máster Universitario en Física Avanzada	3 - Astrofísica avanzada	Optativa

**Coordinación**

<b>Nombre</b>	<b>Departamento</b>
CERDA DURAN, PABLO	16 - Astronomía y Astrofísica
SANCHIS GUAL, NICOLAS	16 - Astronomía y Astrofísica

**RESUMEN**

Fundamentos de Relatividad. Observadores en un campo gravitatorio. Formulación de las leyes físicas en espacios curvos. Tensores de energía. Hidrodinámica relativista. Ecuaciones de Maxwell. Ecuaciones de Einstein. Linealización. Isometrías y campos de Killing. Simetría esférica. Soluciones exactas. La geometría de Schwarzschild: extensiones y generalizaciones. Colapso gravitatorio esférico. Formación de agujeros negros: propiedades características. Formalismo evolutivo de la Relatividad. Formulación 3+1 de las ecuaciones fundamentales. Relatividad Numérica: aplicaciones en Astrofísica Relativista. Radiación gravitatoria.



## CONOCIMIENTOS PREVIOS

### Relación con otras asignaturas de la misma titulación

No se han especificado restricciones de matrícula con otras asignaturas del plan de estudios.

### Otros tipos de requisitos

Haber cursado la asignatura "Relatividad y Cosmología" del grado de Física, u otra con contenidos similares.

## COMPETENCIAS (RD 1393/2007) // RESULTADOS DEL APRENDIZAJE (RD 822/2021)

### 2150 - Máster Universitario en Física Avanzada

- Que los/las estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y las razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.
- Que los/las estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.
- 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.
- Ser capaces de obtener y de seleccionar la información y las fuentes relevantes para la resolución de problemas, elaboración de estrategias y asesoramiento a clientes.
- Comprender de una forma sistemática el campo de estudio de la Física y el dominio de las habilidades y métodos de investigación relacionados con dicho campo.
- Concebir, diseñar, poner en práctica y adoptar un proceso sustancial de investigación con seriedad académica.
- Realizar un análisis crítico, evaluación y síntesis de ideas nuevas y complejas en el área de la Física.
- Analizar una situación compleja extrayendo cuáles son las cantidades físicas relevantes y ser capaz de reducirla a un modelo parametrizado.
- Evaluar la validez de un modelo o teoría propuesto por otros miembros de la comunidad científica.
- Saber modelizar matemáticamente los problemas físicos sencillos nuevos, conectados con problemas conocidos. Ser capaz de expresar en términos matemáticos nuevas ideas.
- Elaborar una memoria clara y concisa de los resultados de su trabajo y de las conclusiones obtenidas en el área de la Física.
- Exponer y defender públicamente el desarrollo, resultados y conclusiones de su trabajo en el área de la Física.



- Comprender los aspectos formales y el aparato matemático de la relatividad general, y ?desarrollar la capacidad de intuición espaciotemporal en cuatro dimensiones.

## RESULTADOS DE APRENDIZAJE (RD 1393/2007) // SIN CONTENIDO (RD 822/2021)

Al finalizar el proceso de enseñanza-aprendizaje el estudiante de la especialidad de "Astofísica" habrá aprendido a

1. Seleccionar y utilizar correctamente distintas fuentes de información tanto en formato tradicional como electrónico. Conocer las bases de archivos propias del campo: inspire, spires, arXiv.
2. Manejar e interpretar correctamente datos físicos cuantitativos y cualitativos que dan validez a las teorías conocidas en el campo.
3. Analizar información de los sistemas físicos.
4. Preparar documentos e informes presentados en un texto escrito de forma comprensible organizada, documentada e ilustrada.
5. Articular un discurso oral, estructurado, coherente, con buena dicción y empleo de vocabulario técnico.
6. Comprender los argumentos utilizados en el campo de la Astronomía y Astrofísica.
7. Comprender la descripción matemática de los procesos físicos que gobiernan la formación y evolución de los objetos celestes tanto a escala estelar como cosmológica.
8. Utilizar a nivel básico instrumentación astronómica profesional. Aproximación al hecho observacional.
9. Comprender la metodología de la elaboración, interpretación y utilización de catálogos de objetos celestes.
10. Ser capaz de desarrollar y manejar las técnicas matemáticas para la aplicación, en casos sencillos, de las ecuaciones de Einstein de la gravitación.

## DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS

### 1. Introducción a la relatividad general

Introducción. Relatividad especial. Principio de equivalencia. Variedades curvadas. Observadores en un espacio-tiempo curvado. Tensor energía-momento. Ecuaciones de Einstein. Formalismo de la tétrada de Cartan.



## 2. Agujeros negros

Isometrías y campos de Killing. Métricas de Schwarzschild y Kerr. Otras métricas.

## 3. Formalismo evolutivo de las ecuaciones de Einstein

Formalismo evolutivo. Formulación 3+1. Formulaciones de las ecuaciones de Einstein: ADM, BSSN y FCF. Masa, energía y momento angular. Otras formulaciones: formulación característica y formulación armónica. Ejemplos de relatividad numérica: punctures y excisión. Colapso crítico de Choptuik.

## 4. Hidrodinámica y electrodinámica en un espacio-tiempo curvado

Formulación de las leyes físicas en espacios tiempos curvos. Tensor de energía-momento. Hidrodinámica relativista. Colapso gravitatorio esférico y formación de agujeros negros. Electrodinámica relativista. Magneto-hidrodinámica relativista. Ejemplos de relatividad numérica.

## 5. Radiación gravitatoria

Ecuaciones de Einstein linealizadas. Soluciones de vacío. Generación de ondas gravitatorias. Fuentes de radiación gravitatoria. Detección de ondas gravitatorias.

## VOLUMEN DE TRABAJO

ACTIVIDAD	Horas	% Presencial
Clases de teoría	39,50	100
Otras actividades	4,00	100
Seminarios	2,50	100
Preparación de clases de teoría	52,00	0
Preparación de clases prácticas y de problemas	52,00	0
<b>TOTAL</b>	<b>150,00</b>	

## METODOLOGÍA DOCENTE

MD1 - Clases teóricas lección magistral participativa.

MD5 – Seminarios.

MD6 – Visita a instalaciones científicas externas y empresas

MD8 – Conferencias de expertos.



## EVALUACIÓN

- 1) Examen escrito sobre los contenidos de la asignatura y las prácticas propuestas (50%).
- 2) Asistencia a las clases presenciales y realización de las prácticas propuestas en horas no presenciales (50%).

Para obtener una evaluación global positiva (mayor o igual que 5 sobre 10) se requiere que cada una de las calificaciones anteriores sea mayor o igual que 3 sobre 10.

## REFERENCIAS

### Básicas

- N. Straumann, *General Relativity and Relativistic Astrophysics*, Springer-Verlag, Berlin (1984)
- H. Stephani, *General Relativity*, Cambridge University Press, Cambridge (1982)
- R. d'Inverno, *Introducing Einstein's Relativity*, Clarendon Press, Oxford (1998)
- W. Rindler, *Relativity, Special, General, and Cosmological*, Oxford University Press, 2a ed. (2006)
- R. M. Wald, *General Relativity*, The University of Chicago Press, Chicago (1984)
- E.ourgoulhon, *3+1 Formalism and bases of Numerical Relativity*, Lecture Notes in Physics 846, Springer (2012) [arXiv: gr-qc/0703035]
- M. Alcubierre, *Introduction to 3+1 Numerical Relativity*, Oxford University Press (2008).
- T. W. Baumgarte and S. L. Shapiro, *Numerical Relativity. Solving Einstein's Equations on the Computer*, Cambridge Univ. Press (2010)
- L. Rezzolla and O. Zanotti, *Relativistic Hydrodynamics*, Oxford University Press, (2013)

### Complementarias

- E.ourgoulhon, *3+1 Formalism in General Relativity*, Springer-Verlag, Berlin (2012)
- S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology*, Wiley, New York (1972)
- F. de Felice, C. J. S. Clarke, *Relativity on Curved Manifolds*, Cambridge U.P., Cambridge (1990)
- L. P. Hughston, K. P. Tod, *An Introduction to General Relativity*, Cambridge U. P. (1990)
- J. Plebanski, A. Krasinski, *An Introduction to General Relativity and Cosmology*, Cambridge U. P. (2006)
- H. Stephani, D. Kramer, M. MacCallum, C. Hoenselaers and E. Herlt, *Exact Solutions to Einstein's Field Equations*, Second edition, Cambridge Univ. Press (2003)
- L. P. Eisenhart, *Riemannian Geometry*, Princeton U.P., Princeton (1949)



- Y. Choquet Bruhat, General Relativity and the Einstein Equations, Oxford University Press (2008).
- J. A. Font, Numerical hydrodynamics and magneto-hydrodynamics in general relativity, Living Reviews in Relativity, 7 (2008) [<http://www.livingreviews.org/lrr-2008-7>]
- L. Smarr and J.W. York, Jr., Kinematical conditions in the construction of spacetime., Phys. Rev. D. 17, 2529-2551 (1978).
- J.W. York, Jr. The initial value problem and dynamics, en "Sources of Gravitational Radiation" edited by L. Smarr, Cambridge Univ. Press: Cambridge (1979) pp. 175-201.
- J. Winicour, Characteristic evolution and matching, Living Reviews in Relativity, 3 (2009)[<http://www.livingreviews.org/lrr-2009-3>]
- New frontiers in Numerical Relativity, M. Campanelli and L. Rezzolla Eds., Classical and Quantum Gravity, 24 12 (2007)
- C. Heinicke and F. Hehl, Schwarzschild and Kerr solutions of Einstein's field equation: An Introduction, International Journal of Modern Physics D, Vol. 24, No 2 1530006 (2015)
- J. D. Norton, General covariance and the foundations of general relativity: eighth decades of dispute, Rep. Prog. Phys. 56, 791-858(1993)
- L. Landau and E. M. Lifshitz, The Classical Theory of Fields, (Elsevier, Amsterdam, Fourth ed., 1975. Reprinted (2007)