



# Guía docente

## 230489 - RELG - Relatividad General

Última modificación: 11/04/2025

**Unidad responsable:** Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de Barcelona  
**Unidad que imparte:** 749 - MAT - Departamento de Matemáticas.  
748 - FIS - Departamento de Física.

**Titulación:** GRADO EN INGENIERÍA FÍSICA (Plan 2011). (Asignatura optativa).

**Curso:** 2025      **Créditos ECTS:** 6.0      **Idiomas:** Castellano

### PROFESORADO

**Profesorado responsable:** NARCISO ROMAN ROY

**Otros:**  
Primer cuatrimestre:  
NARCISO ROMAN ROY - 10  
RAMON TORRES HERRERA - 10

### CAPACIDADES PREVIAS

Conocimientos de Mecánica y Electromagnetismo clásicos adquiridos en las asignaturas previas del Grado; especialmente es recomendable haber cursado la asignatura de "Mecánica" (2A, grado de Ingeniería Física), o también la de "Modelos Matemáticos de la Física" (3B, grado de Matemáticas).

### COMPETENCIAS DE LA TITULACIÓN A LAS QUE CONTRIBUYE LA ASIGNATURA

#### Específicas:

3. Conocimiento del método científico y sus aplicaciones en física e ingeniería. Aptitud para formular hipótesis y realizar análisis críticos sobre problemas científicos en el ámbito de la física y la ingeniería. Capacidad para relacionar la realidad física con sus modelos matemáticos y viceversa.

MAT1. Capacidad para la resolución de los problemas matemáticos que puedan plantearse en la ingeniería. Aptitud para aplicar los conocimientos sobre álgebra lineal; geometría, geometría diferencial, cálculo diferencial e integral, ecuaciones diferenciales ordinarias y en derivadas parciales, probabilidad y estadística.

FG2. Capacidad para resolver problemas básicos de mecánica, elasticidad, termodinámica, fluidos, ondas, electromagnetismo y física moderna, y su aplicación en la resolución de problemas de ingeniería.

#### Genéricas:

2. CAPACIDAD PARA IDENTIFICAR, FORMULAR Y RESOLVER PROBLEMAS DE INGENIERÍA FÍSICA. Capacidad para plantear y resolver problemas de ingeniería física con iniciativa, tomada de decisiones y creatividad. Desarrollar métodos de análisis y solución de problemas de forma sistemática y creativa.

#### Transversales:

1. APRENDIZAJE AUTÓNOMO - Nivel 3: Aplicar los conocimientos alcanzados en la realización de una tarea en función de la pertinencia y la importancia, decidiendo la manera de llevarla a cabo y el tiempo que es necesario dedicarle y seleccionando las fuentes de información más adecuadas.

### METODOLOGÍAS DOCENTES

Clases magistrales con interacción con los estudiantes



## OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

La asignatura pretende garantizar una formación suficiente a los estudiantes para poder progresar al conocimiento de la Teoría de la Relatividad General (TRG). Tras una introducción de los útiles matemáticos necesarios y un breve repaso de la formulación minkowskiana de la Teoría de la Relatividad Especial, describiremos el progreso conceptual que llevó a Albert Einstein a formular la TRG a partir de la Especial y daremos a conocer formalmente dicha teoría, su actual vigencia, los tests experimentales que la avalan, así como las principales aportaciones en el tema del campo exterior y colapso estelar, generación de agujeros negros y origen y evolución del universo: soluciones cosmológicas.

## HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas grupo grande	65,0	43.33
Horas aprendizaje autónomo	85,0	56.67

**Dedicación total:** 150 h

## CONTENIDOS

### 1. Complementos de álgebra tensorial y geometría diferencial.

#### Descripción:

Conceptos básicos de álgebra tensorial. Campos tensoriales. Operaciones. Campos vectoriales, de formas diferenciales y de tensores en  $R^n$ . Variedades diferenciables. Operadores diferenciales. Derivaciones. Derivada covariante. Símbolos de Christoffel. Conexiones. Transporte paralelo. Geodesicas. Ecuación geodésica. Tensor métrico. Simetrías y vectores de Killing. Tensor de torsión de una conexión. Conexión de Levi-Civita. Tensores de curvatura (Riemann, Ricci), propiedades.

#### Dedicación:

Grupo grande/Teoría: 10h

Grupo mediano/Prácticas: 10h

Aprendizaje autónomo: 27h 20m

### 2. Repaso de Relatividad Especial. La formulación de Minkowski de la Relatividad Especial.

#### Descripción:

Postulados de la Relatividad Especial. Métrica de Minkowski y espacio-tiempo de Minkowski. Observadores inercia.

Cuadrvectores. Cono de luz. Geometría de Lorentz. Transformaciones y grupos de Lorentz y de Poincaré. Cinemática y dinámica relativistas. El tensor electromagnético: las ecuaciones de Maxwell.

#### Dedicación:

Grupo grande/Teoría: 2h

Grupo mediano/Prácticas: 1h

Aprendizaje autónomo: 4h

### 3. Principios de la Relatividad General.

#### Descripción:

Fundamentos de la Relatividad General, ecuaciones de la gravitación newtoniana. La masa inercial y gravitacional. El principio de equivalencia, consecuencias. Las geometrías no euclidianas. Postulados de la Relatividad General

#### Dedicación:

Grupo grande/Teoría: 1h

Grupo mediano/Prácticas: 1h

Aprendizaje autónomo: 1h 30m



#### 4. Las ecuaciones de la Relatividad General.

**Descripción:**

El tensor de esfuerzo-energía-momento. Conservación del tensor de esfuerzo-energía-momento. El tensor de Einstein. Propiedades. Ecuaciones de campo de Einstein y ecuación geodésica. Consecuencias de las ecuaciones de Einstein. Efectos de marea. La constante cosmológica. La relatividad general a partir de un principio variacional: La lagrangiana de Hilbert-Einstein. Aspectos fenomenológicos.

**Dedicación:** 11h 50m

Grupo grande/Teoría: 3h 20m

Grupo mediano/Prácticas: 1h 40m

Aprendizaje autónomo: 6h 50m

#### 5. Cinemática en Relatividad General.

**Descripción:**

Congruencias de geodésicas temporales. Distancias e intervalos en Relatividad General. Tensor métrico tridimensional. Criterio de sincronización de relojes en Relatividad General. Sistema de referencia localmente-inercial. Corrimiento hacia el rojo gravitacional. Generalización covariante del efecto Doppler y del corrimiento hacia el rojo gravitacional.

**Dedicación:** 6h 30m

Grupo grande/Teoría: 2h

Grupo mediano/Prácticas: 2h

Aprendizaje autónomo: 2h 30m

#### 6. La solución de Schwarzschild. Geodésicas en la geometría de Schwarzschild.

**Descripción:**

Soluciones con simetría esférica. Soluciones estáticas. Soluciones asintóticamente planas. El espacio-tiempo de Schwarzschild. Propiedades y el teorema de Birkhoff. Singularidades de la curvatura (esencial, intrínseca o real) y singularidades evitables (singularidades de las coordenadas). Método lagrangiano para obtener la ecuación de las geodésicas de tipo tiempo (o nulas). Simetrías y cantidades conservadas. Órbitas frontera. Órbitas circulares estables e inestables. Geodésicas radiales.

**Dedicación:** 16h 20m

Grupo grande/Teoría: 4h

Grupo mediano/Prácticas: 3h

Aprendizaje autónomo: 9h 20m

#### 7. Las pruebas experimentales de la Relatividad General.

**Descripción:**

Avance del perihelio de Mercurio. La desviación de los rayos de luz. Corrimiento hacia el rojo gravitatorio. Retardo de tiempo de las ondas electromagnéticas.

**Dedicación:** 7h 10m

Grupo grande/Teoría: 2h

Grupo mediano/Prácticas: 1h

Aprendizaje autónomo: 4h 10m



## 8. Agujeros negros.

### Dedicación:

Coordenadas de Eddington-Finkelstein. Horizonte de sucesos. Agujeros negros. Fuerzas de marea en un agujero negro. Evidencia observacional de agujeros negros.

### Dedicación: 11h 50m

Grupo grande/Teoría: 3h

Grupo mediano/Prácticas: 2h

Aprendizaje autónomo: 6h 50m

## 9. Extensión máxima y compactificación conforme.

### Dedicación:

Extensiones analíticas máximas. Solución de Kruskal. Diagrama de Penrose del espacio-tiempo de Minkowski. Diagrama de Penrose del espacio-tiempo de Schwarzschild-Kruskal. Agujeros negros versus agujeros blancos. Superficies atrapadas cerradas. Colapso gravitatorio de una estrella. Creación de agujeros negros.

### Dedicación: 11h 40m

Grupo grande/Teoría: 3h

Grupo mediano/Prácticas: 2h

Aprendizaje autónomo: 6h 40m

## 10. Modelización de la radiación y el colapso: Solución de Vaidya

### Dedicación:

Espacio-tiempo exterior de una estrella que emite o recibe radiación: métrica de Vaidya. Flujo de radiación. Tensor de esfuerzo-energía-momento. Agujeros negros y radiación. Diagramas de Penrose para la métrica de Vaidya. Colapso radiativo de un espacio-tiempo esféricamente simétrico: Condiciones coincidentes. Condiciones de energía dominantes en un colapso radiativo.

### Dedicación: 11h

Grupo grande/Teoría: 2h

Grupo mediano/Prácticas: 2h

Aprendizaje autónomo: 7h

## 11. Cosmología relativista. Modelos cosmológicos.

### Dedicación:

Paradoja de Olbers. La ley de Hubble. El principio cosmológico. Postulado de Weyl. Ecuaciones de Friedmann. Cosmología relativista. La geometría de los 3-espacios de curvatura constante. Modelos de espacio plano. Los modelos de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker en el caso plano. Big Bang. Estructura conforme de un modelo "plano" de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker.

### Dedicación: 15h 50m

Grupo grande/Teoría: 4h

Grupo mediano/Prácticas: 3h

Aprendizaje autónomo: 8h 50m



## SISTEMA DE CALIFICACIÓN

---

Dos exámenes parciales (P1 y P2). Examen final (F) (optativo).

Calificación:  $(P1+P2)/2$  o F.

Examen extraordinario (E): se realizará solo en el caso de que la asignatura no sea aprobada en la convocatoria ordinaria e incluirá todos los contenidos del curso. La nota final de la asignatura será la de E.

## BIBLIOGRAFÍA

---

### Básica:

- D'Inverno, R. Introducing Einstein's relativity. Oxford: Clarendon Press . Oxford University Press, 1992. ISBN 0198596863.
- Misner, C.W.; Thorne, K.S.; Weeler, J.A. Gravitation. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1973. ISBN 0716703440.
- Landau, L.D. The classical theory of fields [en línea]. 4th rev English ed. Oxford: Pergamon, 1980 [Consulta: 10/10/2018]. Disponible a: <https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?docID=1675199>. ISBN 9781483293288.
- Carroll, S.M. Spacetime and geometry: an introduction to general relativity. New Intern. ed. Essex: Pearson, 2014. ISBN 9781292026633.
- Poisson, E. A relativist's toolkit: the mathematics of black-hole mechanics. Cambridge, UK ; New York: Cambridge University Press, 2004. ISBN 0521830915, 9780511606601.