



Asignatura: Cosmología  
Código: 32549  
Centro: Facultad Ciencias UAM  
Titulación: Máster en Física Teórica  
Nivel: Máster  
Tipo: Obligatoria  
Nº de créditos: 6 ETCS

## ASIGNATURA / **COURSE TITLE**

Cosmología / [Cosmology](#)

### 1.1 Código / **Course number**

32549

### 1.2 Materia / **Content area**

Cosmología: el origen y evolución del universo / [Cosmology: the origin and evolution of the Universe](#)

### 1.3 Tipo / **Course type**

Formación Obligatoria / [Compulsory Subject](#)

### 1.4 Nivel / **Course level**

Máster / [Master](#)

### 1.5 Curso / **Year**

2018/19

### 1.6 Trimestre / **Trimester**

Segundo Trimestre / [Second Trimester \(T2\)](#)

### 1.7 Número de créditos / **Credit allotment**

6 ECTS

### 1.8 Idioma / **Language**

Español y Inglés / [Spanish and English](#)

### 1.9 Requisitos previos / **Prerequisites**

Admisión al Máster / [Admission to the Master courses](#)



Asignatura: Cosmología  
Código: 32549  
Centro: Facultad Ciencias UAM  
Titulación: Máster en Física Teórica  
Nivel: Máster  
Tipo: Obligatoria  
Nº de créditos: 6 ETCS

## 1.10 Requisitos mínimos de asistencia a las sesiones presenciales / **Minimum attendance requirement**

La asistencia a las clases magistrales es muy recomendable.  
La realización de las prácticas es obligatoria.  
La asistencia a las discusiones de las prácticas es obligatoria.

Attendance to the lectures is highly advisable.  
Exercises are mandatory.  
Attendance to the exercise discussions is mandatory.

## 1.11 Datos del equipo docente / **Faculty data**

Docente / **Lecturer A/Prof. Alexander Knebe (coordinator)**  
Departamento de Física Teórica / **Department of Theoretical Physics**  
Facultad de Ciencias / **Faculty of Science**  
Despacho - Módulo / **Office - Module M-8-316**  
Teléfono / **Phone: +34 91 497 4418**  
Correo electrónico/**Email: alexander.knebe@uam.es**  
Página web/**Website: http://popia.ft.uam.es/aknebe**  
Horario de atención al alumnado / **Office hours: cita previa / appointment by email**

Docente / **Lecturer Dr. Savvas Nesseris**  
Instituto de Física Teórica / **Institute of Theoretical Physics**  
Despacho / **Office - IFT 111**  
Teléfono / **Phone: +34 91 299 9870**  
Correo electrónico/**Email: savvas.nesseris@uam.es**  
Página web/**Website: http://members.ift.uam-csic.es/savvas.nesseris**  
Horario de atención al alumnado / **Office hours: cita previa / appointment by email**

Course website: <http://popia.ft.uam.es/Cosmology/home.html>

## 1.12 Objetivos del curso / **Course objectives**

### RESULTADOS DE APRENDIZAJE:

Conocer las teorías actuales sobre el origen y evolución del Universo. Conocer los datos observacionales en que se basan estas teorías.

Understanding the theories about the origin and evolution of the Universe. Knowing how to determine the parameters of the theories via observations.



Asignatura: Cosmología  
Código: 32549  
Centro: Facultad Ciencias UAM  
Titulación: Máster en Física Teórica  
Nivel: Máster  
Tipo: Obligatoria  
Nº de créditos: 6 ETCS

Estos resultados de aprendizaje contribuyen a la adquisición de las siguientes competencias del curso:

#### COMPETENCIAS BÁSICAS Y GENERALES:

CG3 - Manejar las principales fuentes de información científica, siendo capaces de buscar información relevante a través de internet, de las bases de datos bibliográficas y de la lectura crítica de trabajos científicos, conociendo la bibliografía especializada en Física Teórica: Partículas Elementales, Cosmología y Astrofísica.

CG4 - Elaborar un trabajo escrito con datos bibliográficos, teóricos y/o experimentales, escribiendo un resumen o articulado en extenso - tal y como se realizan los artículos científicos-, formulando hipótesis razonables, composiciones originales y conclusiones motivadas.

CG5 - Presentar públicamente los resultados de una investigación o un informe técnico, comunicar las conclusiones a un tribunal especializado, personas u organizaciones interesadas, y debatir con sus miembros cualquier aspecto relativo a los mismos.

CG2 - Saber trabajar en equipo y comunicarse con la comunidad académica en su conjunto y con la sociedad en general acerca de la Física Teórica: Partículas Elementales, Cosmología y Astrofísica de nueva generación y sus implicaciones académicas, productivas o sociales.

CG1 - Desarrollar destrezas teóricas y experimentales que permitan aplicar a entornos nuevos o poco conocidos, dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares), los conceptos, principios, teorías o modelos adquiridos y relacionados con los retos que actualmente plantea la sociedad en lo referente a la Física Teórica: Partículas Elementales, Cosmología y Astrofísica.

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.



Asignatura: Cosmología  
Código: 32549  
Centro: Facultad Ciencias UAM  
Titulación: Máster en Física Teórica  
Nivel: Máster  
Tipo: Obligatoria  
Nº de créditos: 6 ETCS

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.

#### COMPETENCIAS ESPECÍFICAS:

CE6 - La adquisición de conocimientos avanzados, tanto desde el punto de vista teórico (nuevos conceptos y teorías, desarrollos formales, herramientas matemáticas avanzadas, etc.) como experimental (resultados experimentales que han conducido a nuevas teorías, técnicas experimentales avanzadas, etc.), en la física de partículas, astrofísica y cosmología.

CE7 - La adquisición de conocimientos en la vanguardia de la investigación en las áreas de física de partículas, astrofísica y cosmología: teorías y experimentos actualmente en desarrollo, problemas abiertos de las teorías consolidadas, y nuevas áreas de investigación resultantes de la interconexión de diferentes disciplinas.

CE8 - La capacidad para realizar un análisis crítico de una teoría o experimento reciente o de vanguardia en las áreas de física de partículas, astrofísica y cosmología, basándose en la consistencia lógica del desarrollo formal, la rigurosidad de las técnicas (matemáticas o experimentales) empleadas, y la consistencia con los conocimientos previos. Asimismo, la capacidad de síntesis de nuevas ideas y técnicas (tanto teóricas como experimentales) para abordar los problemas abiertos de las teorías consolidadas en la física de partículas, astrofísica y cosmología.

CE9 - La capacidad de comunicar los conocimientos avanzados en la física de partículas, astrofísica y cosmología: descripción del fenómeno tanto desde un punto de vista teórico (conceptos, desarrollos formales, técnicas matemáticas) como experimental (resultados obtenidos de las observaciones, técnicas utilizadas) y su comprensión en el contexto de las teorías ya consolidadas.

CE10 - La capacidad para abordar y resolver un problema avanzado en la física de partículas, astrofísica y cosmología, mediante la elección adecuada del contexto teórico, la identificación de los conceptos relevantes y el uso de las técnicas matemáticas que constituyen la mejor aproximación para así llegar a la solución.



Asignatura: Cosmología  
Código: 32549  
Centro: Facultad Ciencias UAM  
Titulación: Máster en Física Teórica  
Nivel: Máster  
Tipo: Obligatoria  
Nº de créditos: 6 ETCS

## 1.13 Contenidos del programa / Course contents

1. Los principios de la Cosmología
  - 1.1 El principio de equivalencia y Covariancia General
  - 1.2 El principio cosmológico: Homogeneidad e Isotropía
  - 1.3 Métrica Friedmann-Lemaitre-Robertson-Walker
2. Modelos de Friedmann-Robertson-Walker
  - 2.1 Ecuaciones de Friedmann, coordenadas comóviles y redshift
  - 2.2 Fluidos perfectos: ecuación de estado y expansión adiabática
  - 2.3 Soluciones de las ecuaciones de Friedmann para modelos sencillos
3. Historia térmica del universo
  - 3.1 Partículas relativistas y no relativistas en equilibrio térmico
  - 3.2 Ritmos de interacción y desacoplo de partículas
  - 3.3 La teoría del Big Bang caliente: épocas de radiación y materia
4. Inflación
  - 4.1 Condiciones iniciales: Los problemas de planitud y horizontes
  - 4.2 Expansión quasi-deSitter. El atractor de slow-roll
  - 4.3 Dinámicas de inflación y predicciones
5. Perturbaciones invariantes gauge
  - 5.1 Teoría de perturbaciones lineales. Soluciones exactas
  - 5.2 La transición cuántico-clásica de las fluctuaciones
  - 5.3 Cruce de horizonte y reentrada de las perturbaciones
6. Bariogénesis
  - 6.1 La asimetría materia-antimateria
  - 6.2 Condiciones de Sakharov
  - 6.3 Bario- y leptogénesis
7. La nucleosíntesis primordial
  - 7.1 Fusión estelar y el problema del deuterio
  - 7.2 Producción de pares y el freeze-out de partículas
  - 7.3 Elementos pesados
8. La radiación de fondo de microondas
  - 8.1 Descubrimiento y observaciones recientes
  - 8.2 Origen de las anisotropías del CMB
  - 8.3 Fluctuaciones primarias y secundarias



Asignatura: Cosmología  
Código: 32549  
Centro: Facultad Ciencias UAM  
Titulación: Máster en Física Teórica  
Nivel: Máster  
Tipo: Obligatoria  
Nº de créditos: 6 ETCS

9. Estructura a gran escala
  - 9.1 Crecimiento de estructuras por perturbaciones lineales
  - 9.2 Formación de estructura durante radiación y materia
  - 9.3 Criterio de Jeans. Colapso gravitacional no-lineal
10. Las primeras estrellas y galaxias
  - 10.1 La época oscura del Universo y la reionización
  - 10.2 Formación y evolución de las primeras estrellas
  - 10.3 Formación y evolución de las primeras galaxias
11. Los parámetros cosmológicos por observaciones
  - 11.1 La escala cósmica de distancias
  - 11.2 Candelas y reglas estándar
  - 11.3 Campañas observacionales (cartografiados, satélites, etc.)
12. Ondas gravitacionales
  - 12.1 Que son ondas gravitacionales
  - 12.2 Formalismo de ondas gravitacionales
  - 12.3 Como detectar ondas gravitacionales
13. Cosmología computacional
  - 13.1 El principio de simulaciones de N-cuerpos
  - 13.2 Las ecuaciones de movimiento. Múltiples fluidos
  - 13.3 Códigos modernos de resolución de gravedad e hidrodinámica
14. Problemas Abiertas
  - 14.1 Problemas del modelo estándar
  - 14.2 Posibles soluciones
  - 14.3 Energía oscura y gravitación modificada

- 
1. Cosmological Principles
    - 1.1 The equivalence principle and General Covariance
    - 1.2 The cosmological principle: Homogeneity and Isotropy
    - 1.3 Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker metric
  2. Friedmann-Robertson-Walker Models
    - 2.1 Friedmann Equations: comoving coordinates & redshift
    - 2.2 Perfect Fluids: equation of state & adiabatic expansion
    - 2.3 Solutions to Friedmann Equations for simple models



Asignatura: Cosmología  
Código: 32549  
Centro: Facultad Ciencias UAM  
Titulación: Máster en Física Teórica  
Nivel: Máster  
Tipo: Obligatoria  
Nº de créditos: 6 ETCS

3. Thermal History of the Universe
  - 3.1 Relativistic and nonrelativistic particles in thermal equilibrium
  - 3.2 Interaction rates and particle decoupling
  - 3.3 The hot big bang model: radiation and matter eras
4. Inflation
  - 4.1 The initial conditions of the Big Bang: flatness & horizon problems
  - 4.2 Quasi de Sitter expansion. Slow-roll attractor
  - 4.3 Dynamics and predictions of inflation
5. Gauge Invariant Perturbations
  - 5.1 Linear perturbation theory. Exact solutions during inflation
  - 5.2 The quantum to classical transition of fluctuations
  - 5.3 Horizon crossing and reentry of perturbations
6. Baryogenesis
  - 6.1 The matter-antimatter asymmetry
  - 6.2 Sakharov conditions
  - 6.3 Baryo and leptogenesis
7. Big Bang Nucleosynthesis
  - 7.1 Stellar fusion and the Deuterium problem
  - 7.2 Pair production & particle freeze-out
  - 7.3 Heavier elements
8. Cosmic Microwave Background Radiation
  - 8.1 Discovery and recent observations
  - 8.2 Origin of CMB anisotropies
  - 8.3 Primary & secondary fluctuations
9. Large-Scale Structure Formation
  - 9.1 Growth of structures via linear perturbation theory
  - 9.2 Structure formation during radiation & matter eras
  - 9.3 Jeans criterion. Non-linear structure formation
10. The First Stars & Galaxies
  - 10.1 The dark ages of the Universe and reionization
  - 10.2 Formation and evolution of the first stars
  - 10.3 Formation and evolution of the first galaxies
11. Observational Cosmology
  - 11.1 The distance ladder & cosmological distances
  - 11.2 Standard rulers and candles
  - 11.3 Observational campaigns (redshift surveys, etc.)



Asignatura: Cosmología  
Código: 32549  
Centro: Facultad Ciencias UAM  
Titulación: Máster en Física Teórica  
Nivel: Máster  
Tipo: Obligatoria  
Nº de créditos: 6 ETCS

## 12. Gravitational Waves

- 12.1 What are gravitational waves?
- 12.2 The formalism of gravitational waves
- 12.3 How to detect gravitational waves?

## 13. Computational Cosmology

- 13.1 The N-body principle
- 13.2 The equations-of-motion. Multiple fluids
- 13.3 Modern gravity & hydrodynamics solvers

## 14. Open Problems in Cosmolgy

- 14.1 Problems with the standard model
- 14.2 Possible Solutions to those problems
- 14.3 Dark Energy and Modified Gravity





Asignatura: Cosmología  
Código: 32549  
Centro: Facultad Ciencias UAM  
Titulación: Máster en Física Teórica  
Nivel: Máster  
Tipo: Obligatoria  
Nº de créditos: 6 ETCS

## 1.14 Referencias de consulta / **Course bibliography**

- *Cosmology: The Origin and Evolution of Cosmic Structures*, P. Coles & F. Lucchin, Wiley and Sons 2002
- *Modern Cosmology*, Scott Dodelson, Academic Press 2003
- *Cosmological Physics*, John A. Peacock, Cambridge University Press 1999
- *Cosmology*, M. Rowan–Robinson, Clarendon Press, Oxford 1996
- *Structure Formation in the Universe*, T. Padmamanabhan, Cambridge Univ Press 1993
- *Principles of Physical Cosmology*, P.J.E. Peebles, Princeton Univ Press 1993
- *Introduction to Cosmology*, J.V. Narlikar, Cambridge Univ Press 1993
- *Gravitation and Cosmology*, S. Weinberg, John Wiley and Son 1972
- *The Early Universe*, E.W. Kolb & M. Turner, Westview Press 1994
- *Cosmological Inflation & Large-Scale Structure*, A. Liddle & D. Lyth

## 2 Métodos docentes / **Teaching methodology**

Clases magistrales, resolución de ejercicios prácticos (problemas, cuestiones, procesamiento de la información etc.). Elaboración de trabajos tutelados, que se exponen con presencia de todos los estudiantes. Tutorías individuales o en grupos reducidos.

**Lectures accompanied by exercises. Discussion of problems during tutorials.**



Asignatura: Cosmología  
Código: 32549  
Centro: Facultad Ciencias UAM  
Titulación: Máster en Física Teórica  
Nivel: Máster  
Tipo: Obligatoria  
Nº de créditos: 6 ETCS

### 3 Tiempo de trabajo del estudiante / **Student workload**

#### **150 horas total (presenciales + no presenciales):**

15 clases teóricas (2 horas cada una, la asistencia es muy recomendable);

10 clases prácticas (2 horas cada una, la asistencia es obligatorio).

Tutorías de orientación: 10 horas; idem id de análisis y discusión: 10 horas.

Trabajo personal del alumno: 90 horas.

#### **Personal Attendance (60h):**

- 15x 2h of Lectures (attendance recommended)
- 5x 2h of Exercises (attendance mandatory)
- 10x 2h of Tutorials (attendance recommended)

#### **Individual Work (90h):**

- solving exercises
- review of lecture material (pre- and post-lecture)

### 4 Métodos de evaluación y porcentaje en la calificación final / **Evaluation procedures and weight of components in the final grade**

#### **Convocatoria Ordinaria:**

El estudiante ha de resolver los ejercicios indicados durante el curso y estos serán corregidos por el profesor. Cada alumno presentará al resto de la clase al menos un ejercicio de los propuestos y será evaluado. Además habrá un examen escrito de dos horas al final del curso, para el que se podrá usar libros y apuntes.

La nota final es la suma de las notas de los ejercicios y la presentación de la solución a un problema (max. 5 puntos) y el examen final (max. 5 puntos).

El estudiante suspende el curso si no obtiene al menos 2.5 puntos por los ejercicios y/o 2.5 puntos por el examen final. Solo en ese caso se le permitiría presentarse al examen extraordinario.

#### **Convocatoria Extraordinaria:**

El examen extraordinario consiste en un examen escrito, el cual cubre todo el contenido del curso. El examen durará 3 horas y no se admiten medios de ayuda como libros de texto, apuntes del curso, etc.



Asignatura: Cosmología  
Código: 32549  
Centro: Facultad Ciencias UAM  
Titulación: Máster en Física Teórica  
Nivel: Máster  
Tipo: Obligatoria  
Nº de créditos: 6 ETCS

**Ordinary Evaluation:**

The student has to solve all the exercises handed out during the course. Those exercises will be marked. The student also has to publicly present his/her solution to one of the exercises at least once during the exercise classes; this presentation will be marked, too. In addition to the exercises there will be a final written exam of 2 hours at the end of the course for which the student can use all teaching material incl. textbooks.

The final mark is the sum of the marks received for the exercises and the presentation of at least one solution in class (max. 5 points) and the final exam (max. 5 points).

The course is considered 'failed' if the student has not obtained at least 2.5 points for the exercises and/or 2.5 points in the final exam. Then - and only then - will he/she be allowed to enter the extraordinary exam.

**Extraordinary Exam:**

The extraordinary exam consists of a written test covering the full course content. This test is 3 hours long and no resources (e.g. books, lecture notes, etc.) are allowed during this test.



Asignatura: Cosmología  
 Código: 32549  
 Centro: Facultad Ciencias UAM  
 Titulación: Máster en Física Teórica  
 Nivel: Máster  
 Tipo: Obligatoria  
 N° de créditos: 6 ETCS

## 5 Cronograma\* / Course calendar

Semana	Contenido	Horas presenciales	Horas no presenciales
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los principios de la Cosmología</li> <li>• Modelos de Friedmann-Robertson-Walker</li> <li>• Tutorías</li> </ul>	6/semana	9/semana
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Historia térmica del universo</li> <li>• La nucleosíntesis primordial</li> <li>• Tutorías</li> </ul>	6/semana	9/semana
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inflación</li> <li>• Ejercicios</li> <li>• Tutorías</li> </ul>	6/semana	9/semana
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perturbaciones invariantes gauge</li> <li>• Bariogénesis</li> <li>• Tutorías</li> </ul>	6/semana	9/semana
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La radiación de fondo de microondas I</li> <li>• Ejercicios</li> <li>• Tutorías</li> </ul>	6/semana	9/semana
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La radiación de fondo de microondas II</li> <li>• Estructura a gran escala</li> <li>• Tutorías</li> </ul>	6/semana	9/semana
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las primeras estrellas y galaxias</li> <li>• Ejercicios</li> <li>• Tutorías</li> </ul>	6/semana	9/semana
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cosmología observacional I</li> <li>• Cosmología observacional II</li> <li>• Tutorías</li> </ul>	6/semana	9/semana
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ondas gravitacionales</li> <li>• Ejercicios</li> <li>• Tutorías</li> </ul>	6/semana	9/semana
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cosmología computacional</li> <li>• Problemas Abiertas en Cosmología I</li> <li>• Tutorías</li> </ul>	6/semana	9/semana
11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas Abiertas en Cosmología II</li> <li>• Ejercicios</li> <li>• Tutorías</li> </ul>	6/semana	9/semana

\*Este cronograma tiene carácter orientativo.



Asignatura: Cosmología  
 Código: 32549  
 Centro: Facultad Ciencias UAM  
 Titulación: Máster en Física Teórica  
 Nivel: Máster  
 Tipo: Obligatoria  
 N° de créditos: 6 ETCS

Week	Contents	Contact hours	Independent study time
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Cosmological Principles</b></li> <li>• <b>Friedmann-Robertson-Walker Models</b></li> <li>• <i>Tutorials</i></li> </ul>	6/week	9/week
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Thermal History of the Universe</b></li> <li>• <b>Big Bang Nucleosynthesis</b></li> <li>• <i>Tutorials</i></li> </ul>	6/week	9/week
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Inflation</b></li> <li>• Exercises</li> <li>• <i>Tutorials</i></li> </ul>	6/week	9/week
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Gauge Invariant Perturbations</b></li> <li>• <b>Baryogenesis</b></li> <li>• <i>Tutorials</i></li> </ul>	6/week	9/week
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Cosmic Microwave Background Radiation I</b></li> <li>• Exercises</li> <li>• <i>Tutorials</i></li> </ul>	6/week	9/week
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Cosmic Microwave Background Radiation II</b></li> <li>• <b>Large-Scale Structure Formation</b></li> <li>• <i>Tutorials</i></li> </ul>	6/week	9/week
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>First Stars &amp; Galaxies</b></li> <li>• Exercises</li> <li>• <i>Tutorials</i></li> </ul>	6/week	9/week
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Observational Cosmology I</b></li> <li>• <b>Observational Cosmology II</b></li> <li>• <i>Tutorials</i></li> </ul>	6/week	9/week
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Gravitational Waves</b></li> <li>• Exercises</li> <li>• <i>Tutorials</i></li> </ul>	6/week	9/week
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Computational Cosmology</b></li> <li>• <b>Open Problems in Cosmology I</b></li> <li>• <i>Tutorials</i></li> </ul>	6/week	9/week
11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Open Problems in Cosmology II</b></li> <li>• Exercises</li> <li>• <i>Tutorials</i></li> </ul>	6/week	9/week

\*This syllabus is not final and could be adjusted when needed.