



Asignatura: Astrofísica Computacional
Código: 32566
Centro: Facultad de Ciencias UAM
Titulación: Máster Física Teórica
Nivel: Máster
Tipo: Optativa
Nº de créditos: 6

ASIGNATURA / **COURSE TITLE**

Astrofísica Computacional / **Computational Astrophysics**

1.1 Código / **Course number**

32566

1.2 Materia / **Content area**

Computacion, Numerica y Informatica / **Computation, Numerics & Informatics**

1.3 Tipo / **Course type**

Optativa / **Optional**

1.4 Nivel / **Course level**

Master / **Master**

1.5 Curso / **Year**

2018/19

1.6 Trimestre / **Trimester**

Tercero / **Third (T3)**

1.7 Número de créditos / **Credit allotment**

6 ECTS

1.8 Idioma / **Language**

Español y Ingles / **Spanish and English**

1.9 Requisitos previos / **Prerequisites**

Admisión al Máster / **Admission to the Master courses**



Asignatura: Astrofísica Computacional
Código: 32566
Centro: Facultad de Ciencias UAM
Titulación: Máster Física Teórica
Nivel: Máster
Tipo: Optativa
Nº de créditos: 6

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

La asistencia es obligatoria / **Attendance is mandatory**

La realización de las prácticas es obligatoria / **Exercises are mandatory**

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

Docente(s) / **Lecturer(s) A/Prof. Alexander Knebe (coordinador)**

Departamento de Física Teórica / **Department of Theoretical Physics**

Facultad de Ciencias / **Faculty of Science**

Despacho - Módulo / **Office - Module C-8-316**

Teléfono / **Phone: +34 91 497 4418**

Correo electrónico/**Email: alexander.knebe@uam.es**

Página web/**Website: <http://popia.ft.uam.es/aknebe/page3/compastro/home.html>**

Horario de atención al alumnado / **Office hours:**

cita previa por correo electrónico / **appointment by email**

Docente(s) / **Lecturer(s) Prof. Gustavo Yepes**

Departamento de / **Department of Física Teórica**

Facultad de Ciencias / **Faculty of Science**

Despacho - Módulo / **Office - Module C-8-307**

Teléfono / **Phone: +34 91 497 3933**

Correo electrónico / **Email: gustavo.yepes@uam.es**

Página web / **Website: <http://astro.ft.uam.es/gustavo>**

1.12 Objetivos del curso / **Course objectives**

RESULTADOS DE APRENDIZAJE:

Conocer los métodos numéricos que se utilizan para la modelización en ordenador de los principales fenómenos astrofísicos. El alumno adquirirá destreza en el manejo de sistemas informáticos y en la programación de alto nivel.

The course aims at providing the students with the required knowledge to model astrophysical process with a computer. The student will further obtain dexterity in the handling of numerical systems and learn programming at a scientific level.



Asignatura: Astrofísica Computacional
Código: 32566
Centro: Facultad de Ciencias UAM
Titulación: Máster Física Teórica
Nivel: Máster
Tipo: Optativa
Nº de créditos: 6

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.

C

G1 - 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



Asignatura: Astrofísica Computacional
Código: 32566
Centro: Facultad de Ciencias UAM
Titulación: Máster Física Teórica
Nivel: Máster
Tipo: Optativa
Nº de créditos: 6

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.

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: Astrofísica Computacional
Código: 32566
Centro: Facultad de Ciencias UAM
Titulación: Máster Física Teórica
Nivel: Máster
Tipo: Optativa
Nº de créditos: 6

1.13 Contenidos del programa / **Course contents**

1. INTRODUCCIÓN.
2. CONCEPTOS DE "HIGH-PERFORMANCE COMPUTING"
3. REPASO DE MÉTODOS NUMÉRICOS CLÁSICOS
 - a. integración numérica
 - b. resolver ecuaciones diferenciales
4. PROCESOS ASTROFÍSICOS RELEVANTES:
 - a. Ecuación de Boltzman para N cuerpos
 - b. Gravitación
 - c. (Magneto-)Hidrodinámica
5. METODOS NUMERICOS PARA LOS PROCESOS GRAVITACIONALES:
 - a. El método de los N-cuerpos
 - b. Algoritmos numéricos:
 - i. Suma directa
 - ii. Métodos eulerianos: PM, AMR
 - iii. Métodos lagrangianos : Tree, expansión multipolar
 - iv. Métodos mixtos: treePM, (A)P³M
6. METODOS NUMÉRICOS PARA PROCESOS DE DINÁMICA DE GASES:
 - a. Métodos Eulerianos: AMR
 - b. Métodos Lagrangianos: SPH

1. **Introduction to Computational Astrophysics**
2. **Concepts of High-Performance Computing**
3. **Review of Numerical Methods**
 - a. Numerical Integration
 - b. Solving Differential Equations
4. **Summary of the relevant physical processes to be modelled**
 - a. Boltzmann equation for a system of N bodies
 - b. Gravity
 - c. (Magneto-)Hydrodynamics
5. **Solving for Gravity**
 - a. direct summation
 - b. Eulerian methods: PM, AMR
 - c. Lagrangian methods: tree, multipole expansion
 - d. Hybrid methods: treePM, (A)P³M
6. **Dynamics of Gases**
 - a. Eulerian methods: AMR
 - b. Lagrangian methods: SPH



Asignatura: Astrofísica Computacional
Código: 32566
Centro: Facultad de Ciencias UAM
Titulación: Máster Física Teórica
Nivel: Máster
Tipo: Optativa
Nº de créditos: 6

Prácticas: durante todo el curso se realizarán prácticas que enseñan al alumno los métodos numéricos y conceptos de programación avanzada (como, por ejemplo, paralelización de códigos).

A parte de pequeños ejercicios ejecutados junto con el profesor, hay tres prácticas numéricas desarrolladas por el alumno:

- la serie de Mandelbrot
- la diferencia entre dos métodos distintos para integrar las ecuaciones del movimiento de dos cuerpos gravitatorios
- un código 1D para resolver las ecuaciones de dinámica de gases con el método de Lagrangianos SPH.

Además hay un proyecto (a elegir individual o en grupo de dos alumnos): o un proyecto realizando unas simulaciones con códigos profesionales (sistema solar, colisión de galaxias, evolución del universo, etc.) o un resumen de artículos sobre un tema del curso.

Exercises: the whole course will be accompanied by hands-on exercises related to each and every individual subject listed above. These exercises will also teach the student advanced computing concepts such as parallelisation in a learning-by-doing fashion.

Besides of the smaller exercises to be solved together with the teacher, there will be three major exercises where the student has to write small codes by him-/herself; these exercises will enter the evaluation (see below):

- the Mandelbrot series
- the difference between two distinct integration schemes for the equations of motion for two self gravitating bodies
- a 1D code for solving the equations of gas dynamics using the Lagrangian SPH method

Furthermore, there will be one project (to be selected individually or in a group of two students): either the project consists of using a professional code for the study of an astrophysical system (solar system, galaxy collision, cosmic structure formation, etc.) or literature research about one of the topics of the course.



Asignatura: Astrofísica Computacional
Código: 32566
Centro: Facultad de Ciencias UAM
Titulación: Máster Física Teórica
Nivel: Máster
Tipo: Optativa
Nº de créditos: 6

1.14 Referencias de consulta / **Course bibliography**

- *Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing*. Cambridge Univ. Press.
→ **Libro on line!** / [Book available online:](http://www.nr.com/oldverswitcher.html)
<http://www.nr.com/oldverswitcher.html>
- *Gravitational N-body Simulations*. S. Aarseth. Cambridge Univ Press.
- *Computer Simulations using Particles*. Hockney & Eastwood.
- *Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics*. E. Toro
→ **Libro on line!** / [Book available online:](http://link.springer.com/book/10.1007%2Fb79761)
<http://link.springer.com/book/10.1007%2Fb79761>
- *Análisis Numérico con Aplicaciones*. C.F. Gerald y P.O. Wheatley.
Editorial Addison-Wesley.
- *Análisis Numérico*. R.L. Burden, J. Douglas Faires.
Editorial International Thomson Editores.
- *Cálculo Numérico*. B. Carnahan, H.A. Luther y J.O. Wilkes.
Editorial Rueda.
- *Elementary Numerical Analysis*. Kendall Atkinson. John Wiley and Sons.
- *Computational Gas Dynamics*. C. B. Laney. Cambridge Univ. Press.
- *Computational Methods for Astrophysical Fluid Flows*. Le Veque, et al.
Springer-Verlag
- *Gravitational N-body Problem*. M. Lecar. Kluwer.
- *Numerical Methods in Astrophysics*. Bodenheimer. Taylor & Francis

2. Métodos docentes / **Teaching methodology**

Clases magistrales, Prácticas de ordenador y trabajos tutelados /
[Lectures accompanied by exercises and coding tutorials](#)

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

150 horas / [150 hours](#)

- 16 horas docencia teórica (2 horas semanales)
- 16 horas de docencia práctica (2 horas semanales)
- 112 horas no presenciales (las practicas y el proyecto)
- 6 horas para exposición de proyectos

- [16 hours of lectures \(2 hours per week\)](#)
- [16 hours of coding tutorials \(2 hour per week\)](#)
- [112 hours of homework \(coding exercises and project work\)](#)
- [6 hours of project presentations](#)



Asignatura: Astrofísica Computacional
 Código: 32566
 Centro: Facultad de Ciencias UAM
 Titulación: Máster Física Teórica
 Nivel: Máster
 Tipo: Optativa
 N° de créditos: 6

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

Prácticas numéricas (obligatorias):

- serie de Mandelbrot 10%
- método de integración 20%
- código SPH en 1D 20%

El proyecto y su exposición (obligatorio): 50%

Se considera el curso 'no aprobado' si el alumno no ha obtenido al menos 50% para las prácticas numéricas y/o para el proyecto. En su caso (y sólo en ese caso) el alumno podría entrar al examen extraordinario.

Examen extraordinario:

El examen extraordinario consiste en un examen escrito el cual cubre todo el contenido del curso. El examen durará 2 horas y no se admiten medios de ayuda como libros de texto, apuntes del curso, etc.

Exercises (mandatory):

- Mandelbrot series 10%
- integration method for orbits 20%
- SPH code in 1D 20%

Project and its presentation (mandatory): 50%

The course is considered 'failed' if the student does not obtain 50% of the maximum mark for either the exercises or the project (or both). In that case (and only in that case) the student can enter an extraordinary exam.

Extraordinary examination:

The extraordinary exam consists of a written test covering the full course content. This test is 2 hours long and no resources (e.g. books, lecture notes, etc.) are allowed during this test.



Asignatura: Astrofísica Computacional
 Código: 32566
 Centro: Facultad de Ciencias UAM
 Titulación: Máster Física Teórica
 Nivel: Máster
 Tipo: Optativa
 N° de créditos: 6

5. Cronograma* / Course calendar

Semana Week	Contenido Contents	Horas presenciales Contact hours	Horas no presenciales Independent study time
1	<ul style="list-style-type: none"> • Introduction • <i>coding tutorial</i> 	4h/semana	14h/semana
2	<ul style="list-style-type: none"> • High-Performance Computing • <i>coding tutorial</i> 	4h/semana	14h/semana
3	<ul style="list-style-type: none"> • Numerical Methods • <i>coding tutorial</i> 	4h/semana	14h/semana
4	<ul style="list-style-type: none"> • Astrophysical Processes • <i>coding tutorial</i> 	4h/semana	14h/semana
5	<ul style="list-style-type: none"> • Gravity Solver: tree codes • <i>coding tutorial</i> 	4h/semana	14h/semana
6	<ul style="list-style-type: none"> • Gravity Solver: grid codes • <i>coding tutorial</i> 	4h/semana	14h/semana
7	<ul style="list-style-type: none"> • Dynamics of Gases: Eulerian methods • <i>coding tutorial</i> 	4h/semana	14h/semana
8	<ul style="list-style-type: none"> • Dynamics of Gases: Lagrangian methods • <i>coding tutorial</i> 	4h/semana	14h/semana
9	Examen	6h/semana	

*Este cronograma tiene carácter orientativo/ [This table is not definite.](#)