Curso | 2026-2027

Guía Docente del Máster en Astrofísica

Facultad de Ciencias Físicas
Universidad Complutense de Madrid

Versión .1.1 – 21/07/2026

Aprobada por Junta de Facultad el 30 de junio de 2026

Sobre esta guía Docente 2

1. Información general 2
1.1. Presentación 2
1.2. Motivación del Máster 2
1.3. ¿Por qué en la UCM? 2
1.4. Salidas profesionales 3
1.5. Comisión coordinadora del Máster 3
1.6. Página web y cuenta de Twitter 3

2. Estructura del Plan de Estudios 4
2.1. Estructura general 4
2.2. Asignaturas del Plan de Estudios 6
2.3. Adquisición de Competencias 7
2.4. Complementos de Formación 8
2.5. Requisitos de acceso y Criterios de Admisión 10
2.6. Reconocimiento de créditos 10

3. Coordinación y Sistema de Garantía Interno de Calidad (SGIC) 11
3.1. Comisión coordinadora del Máster 11
3.2. Comisión de Calidad de Estudios de Máster 11
3.3. Buzón de quejas y sugerencias 11

4. Fichas de las Asignaturas 11
Atmósferas Estelares 12
Medio Interestelar 16
Formación y Evolución de Galaxias 19
Instrumentación Astronómica 23
Sistema Solar y Exoplanetas 27
Estrellas Frías y Objetos Subestelares 31
Técnicas Experimentales en Astrofísica 35
Astrofísica de Altas Energías 39
Análisis de Datos y Técnicas Estadísticas 43
Dinámica de Galaxias 46
Física del Modelo Cosmológico Estándar 51
Trabajo Fin de Máster (TFM) 55
Prácticas en Empresa (PE) 58

5. Cuadros Horarios 60

6. Calendario Académico y Exámenes 61

7. Enlaces de interés 62

8. Control de cambios 63

Sobre esta guía Docente

Esta guía docente está disponible en https://fisicas.ucm.es/guias-masteres

1. Información general

1.1. Presentación

Denominación del título: Máster Universitario en Astrofísica por la Universidad Complutense de Madrid.
El plan de estudios del Máster combina temas de Astronomía, Astrofísica, Cosmología e Instrumentación Astronómica, con una orientación investigadora y profesional que forma al estudiante para ejercer en investigación astrofísica o en las empresas del sector aeroespacial.
Centro responsable y en el que se imparte el título: Facultad de Ciencias Físicas.
Departamento responsable: Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica (FTA)
Otros departamentos UCM participantes: Departamento de Física Teórica (FT), Departamento de Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica (EMFTEL).

Tipo de enseñanza: presencial.
Carácter: investigador.
Curso académico en el que se implantó el Máster: 2013 / 2014.
Idioma en el que se imparte: español (para algunas actividades formativas es conveniente algún conocimiento de inglés).

1.2. Motivación del Máster

La Astrofísica está conociendo en estos momentos una auténtica revolución en sus diferentes vertientes teórica, experimental, metodológica, etc. El Máster aborda los siguientes temas de gran impacto en la rama de la Astrofísica: Sistema Solar, exoplanetas, actividad estelar, poblaciones estelares en galaxias, astropartículas, estructura a gran escala,... formando personal investigador con una gran potencial en todos los temas de máxima actualidad científica.

1.3. ¿Por qué en la UCM?

- Por la experiencia investigadora del personal docente encargado de asumir las enseñanzas del Máster, ya que sus miembros forman parte de relevantes grupos y proyectos de investigación, a nivel nacional e internacional.
- Por la amplia y cualificada experiencia docente del profesorado de los Departamentos implicados que asumen la enseñanza del Máster.
- Por la concepción de los contenidos de las materias impartidas y la forma de transmitirlos, con una metodología que combina clases teóricas con trabajos prácticos.
- Por disponer de recursos didácticos y equipos propios de la UCM, como los que aportan los distintos centros que componen los CAIs (Centro de Apoyo a la Investigación), a través de las cuales se garantiza el apoyo a la investigación astronómica. El CAI de Técnicas Físicas cuenta con áreas de trabajo como Física de Estado Sólido y Materiales, Metalurgia, Micro- y Nano-electrónica, Nanoestructuras, Óptica, Optoelectrónica, Paleomagnetismo, Química de Estado Sólido y por último el Laboratorio de Instrumentación Científica Avanzada (LICA) para grandes telescopios.
- Por contar con la posibilidad de realizar prácticas astronómicas en instituciones científicas de rango internacional.

- Por la facilidad para encontrar trabajo en las empresas del sector aeroespacial.

1.4. Salidas profesionales

- Investigación en el ámbito de la Astronomía y Astrofísica
- Instituciones públicas del ámbito de la Astrofísica: Observatorios astronómicos, Instituto Geográfico Nacional, European Science Astronomy Center (ESAC), CSIC, INTA, CIEMAT,...
- Empresas del sector aeroespacial: Deimos, EADS, Fractal, GMV, ISDEFE, IXION, LIDAX, SENER, SERCO, Thales Alenia, ...
- Carrera docente e investigadora en el ámbito Universitario.
- Carrera docente en el ámbito de la educación a nivel de bachillerato.
- Periodista especializado en Ciencia y en su divulgación.
- Por el aprendizaje de trabajo en equipo, con bases de datos, uso del inglés, conocimientos de física y programación, etc., el estudiantado egresado con especialización en Astrofísica es también apreciado en empresas privadas de consultoría, desarrollo de software, etc.

1.5. Comisión coordinadora del Máster

Nombre	Correo	Departamento
Dr. José A. Ruiz Cembranos	cembranos@ucm.es	FT
Dra. Nuria Huélamo Bautista	nhuelamo@cab.inta-csic.es	Externo
Dra. Patricia Sánchez Blázquez	psanchezblazquez@ucm.es	FTA
Dra. Miriam Cortés Contreras	mcortescontreras@ucm.es	FTA
Dr. Alberto Domínguez	alberto.d@ucm.es	EMFTEL
Dr. Nicolás Cardiel López	cardiel@ucm.es	FTA (coordinador)

1.6. Página web y redes sociales

Toda la información sobre el máster UCM en Astrofísica se puede encontrar en la página web (ver más enlaces de interés al final de esta Guía Docente):

http://www.ucm.es/masterastrofisica/

El Máster en redes sociales:

https://x.com/MasterAstroUCM @MasterAstroUCM

https://bsky.app/profile/masterastroucm.bsky.social

2. Estructura del Plan de Estudios

2.1. Estructura general

El Máster en Astrofísica está estructurado en módulos y materias. Los módulos se refieren al nivel y especialización de los estudios. Las materias son unidades disciplinares que incluyen diferentes contenidos que se pueden organizar en una o varias asignaturas. La estructura general del Máster se resume en la Tabla 1.
La carga lectiva es de 60 créditos ECTS. Los créditos se distribuirán de la siguiente manera:

- 36 créditos obligatorios, que incluyen un Trabajo Fin de Máster (TFM) de 12 ECTS.
- 24 créditos optativos que el alumno habrá de elegir de una oferta total de 54 ECTS. Estos incluyen la posibilidad de prácticas en empresa (6 ECTS).

Los módulos del Máster son:

- Módulo de formación básica
- Módulo de formación avanzada
- Trabajo Fin de Máster (TFM)
- Prácticas en empresa (PE)

El MÓDULO DE FORMACIÓN BÁSICA (24 ECTS) está integrado por los contenidos fundamentales de las Materias que constituyen el Máster. Se compone de tres materias obligatorias:
- Fundamentos de Física Estelar (12 ECTS)
- Fundamentos de Astrofísica Extragaláctica (6 ECTS)
- Fundamentos de Instrumentación Astronómica (6 ECTS)

El TRABAJO FIN DE MÁSTER (12 ECTS) es una parte obligatoria del Máster. Podrá estar orientado a la investigación científica en el campo de Astrofísica o al desarrollo técnico-profesional en el ámbito de la instrumentación científica relacionada con el área de la Astronomía y la Astrofísica. Deberá tener un alcance acorde con el número de créditos.

El MÓDULO DE FORMACIÓN AVANZADA (18-24 ECTS) está integrado por una serie de materias que proporcionan al alumno la posibilidad de complementar su formación en las diferentes áreas de la Astrofísica. Se compone de cuatro materias:

- Física de Objetos Estelares y Subestelares
- Instrumentación y Técnicas Experimentales en Astrofísica
- Astrofísica Extragaláctica y Cosmología
- Temas Avanzados en Astrofísica (esta materia no se imparte en el curso 2026-27)

Las PRÁCTICAS EN EMPRESA (6 ECTS) son optativas y se podrán realizar tanto en empresas privadas como en instituciones u organismos oficiales, y pueden ser presenciales, semi-presenciales u *online*. Tienen la naturaleza de una asignatura del segundo semestre.

Tabla 1: Estructura del Máster en Astrofísica.

Módulos	Materias	Contenidos	
		Primer Semestre	Segundo Semestre
Módulo de FORMACIÓN BÁSICA	FUNDAMENTOS DE FÍSICA ESTELAR	- Atmósferas estelares - Medio interestelar	
	FUNDAMENTOS DE ASTROFÍSICA EXTRAGALÁCTICA	- Formación y evolución de galaxias	
	FUNDAMENTOS DE INSTRUMENTACIÓN ASTRONÓMICA	- Instrumentación astronómica	
Módulo de FORMACIÓN AVANZADA	FÍSICA DE OBJETOS ESTELARES Y SUBESTELARES		- Sistema solar y exoplanetas - Estrellas frías y objetos subestelares
	INSTRUMENTACIÓN Y TÉCNICAS EXPERIMENTALES EN ASTROFÍSICA		- Técnicas experimentales en Astrofísica - Astrofísica de altas energías - Análisis de datos y técnicas estadísticas
	ASTROFÍSICA EXTRAGALÁCTICA Y COSMOLOGÍA		- Dinámica de galaxias - Física del modelo cosmológico estándar
	TEMAS AVANZADOS EN ASTROFÍSICA **(no se imparte en 2026-27)**		- Temas avanzados en Astrofísica **(no se imparte en 2026-2027)**
MÓDULO TRABAJO FIN DE MÁSTER	TRABAJO FIN DE MÁSTER	- Trabajo Fin de Máster	
MÓDULO PRÁCTICAS EN EMPRESA	PRÁCTICAS EN EMPRESA		- Prácticas en empresa

Las materias que conforman el Máster están distribuidas en dos semestres, de tal modo que el alumno pueda organizar el curso con una carga docente equilibrada, 30 créditos ECTS en cada uno de ellos. Las materias se organizan en asignaturas con un peso uniforme de 6 ECTS para cada una de ellas.

El primer semestre está dedicado al Módulo de Formación Básica, con las materias en las áreas principales de la Astrofísica. En este primer semestre el estudiante empieza ya las actividades relacionadas con el Módulo del TFM (12 ECTS, carácter anual y obligatorio).

En el segundo semestre se completan los 60 ECTS del Máster con el número adecuado de ECTS optativos de las materias ofertadas. Para el segundo semestre la oferta será amplia, de tal modo que permita al estudiantado dar continuidad a los conocimientos adquiridos en el Módulo de Formación Básica. En este segundo semestre se deben compaginar las materias optativas con el desarrollo final del TFM. En este mismo periodo también se podrán llevar a cabo las PRÁCTICAS EN EMPRESA (6 ECTS de carácter optativo).

El Máster oferta un único itinerario, pero está diseñado de forma que sea interesante y continuación natural para el alumnado de los dos itinerarios actualmente existentes en el Grado en Física en la UCM: Física Fundamental y Física Aplicada. Esto queda reflejado en la distribución de los contenidos en materias, algunas de ellas más próximas a la Física Fundamental y otra (e.g., Instrumentación Astronómica) más próxima a la Física Aplicada.

2.2. Asignaturas del Plan de Estudios

Las tablas siguientes muestran cómo se estructuran las asignaturas en semestres:

Código	**Primer semestre**	Materia	Módulo	Tipo	ECTS
606750	Atmósferas Estelares	Fundamentos de Física Estelar	Formación Básica	OB	6
606751	Medio Interestelar			OB	6
606752	Formación y Evolución de Galaxias	Fundamentos de Astrofísica Extragaláctica		OB	6
606753	Instrumentación Astronómica	Fundamentos de Instrumentación Astronómica		OB	6

Código	**Anual**	Materia	Módulo	Tipo	ECTS
606754	Trabajo Fin de Máster	Trabajo de Fin de Máster	Trabajo Fin de Máster	OB	12

Código	**Segundo semestre**	Materia	Módulo	Tipo	ECTS
606755	Sistema Solar y Exoplanetas	Física de objetos estelares y subestelares	Formación Avanzada	OP	6
606756	Estrellas Frías y Objetos Subestelares			OP	6
606757	Técnicas Experimentales en Astrofísica	Instrumentación y Técnicas Experimentales en Astrofísica		OP	6
606758	Astrofísica de Altas Energías			OP	6
606759	Análisis de Datos y Técnicas Estadísticas			OP	6
606760	Dinámica de Galaxias	Astrofísica Extragaláctica y Cosmología		OP	6
606761	Física del Modelo Cosmológico Estándar			OP	6
	Temas Avanzados en Astrofísica	Temas Avanzados en Astrofísica **(no se imparte el curso 26-27)**		OP	6
Código	**Segundo semestre**	Materia	Módulo	Tipo	ECTS
606763	Prácticas en empresa	Prácticas en empresa	Prácticas en empresa	OP	6

OB = Asignatura obligatoria; OP = Asignatura optativa

2.3. Adquisición de Competencias

El documento de Verificación especifica las competencias que debe adquirir el alumnado en cada uno de los módulos y materias de los que consta el plan de estudios. Estas competencias, divididas en competencias de carácter básico, general, transversal y específico, son las siguientes:

COMPETENCIAS 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 - Que el alumnado sepa 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 el alumnado sea capaz 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 el alumnado sepa 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 el alumnado posea las habilidades de aprendizaje que le permita continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo
COMPETENCIAS GENERALES
CG1 - Capacidad de análisis y síntesis
CG2 - Capacidad de organización y planificación
CG3 - Capacidad de resolución de problemas
CG4 - Capacidad para desarrollar trabajo en equipo
CG5 - Capacidad para estudiar de forma continuada y desarrollar un aprendizaje autónomo
CG6 - Capacidad para combinar conocimientos generalistas y especializados
CG7 - Capacidad de razonamiento crítico
CG8 - Capacidad de adaptación a situaciones nuevas
CG9 - Capacidad de gestionar la información
CG10 - Capacidad para tomar decisiones y generar propuestas innovadoras y competitivas
CG11 - Capacidad para comunicar, transmitir y presentar sus conocimientos de forma oral y escrita
COMPETENCIAS TRANSVERSALES
CT1 - Demostrar habilidades para la elaboración de informes básicos de carácter técnico
CT2 - Presentar y defender informes científicos y técnicos
CT3 - Demostrar compromiso ético con las funciones de carácter profesional que se lleven a cabo
CT4 - Demostrar adecuación suficiente para el desarrollo profesional de la actividad
CT5 - Demostrar motivación por las actividades científicas y tecnológicas de carácter profesionalizante
COMPETENCIAS ESPECÍFICAS
CE1 - Conocimiento y comprensión de los resultados más recientes en la investigación del Universo
CE2 - Conocimiento de aplicaciones actuales y técnicas punteras en el desarrollo de experimentos desde tierra y a bordo de satélites
CE3 - Capacidad para enfrentarse y resolver problemas avanzados sobre la estructura de los distintos componentes del Universo y sus técnicas de observación
CE4 - Capacidad para interpretar los datos observacionales de acuerdo con las teorías más actuales de la Física, la Astrofísica y la Cosmología
CE5 - Perfeccionamiento del bagaje teórico y experimental en un área específica de la Astrofísica, orientado al desarrollo de una actividad investigadora que culminará con la tesis doctoral en Astrofísica
CE6 - Capacidad para participar y contribuir al desarrollo de proyectos dentro de equipos de investigación en un área específica de la Astrofísica
CE7 - Capacidad de búsqueda y análisis de bibliografía científica y especializada orientada a la elaboración de trabajos de investigación, proyectos científicos y memorandos técnicos en un área específica de la Astrofísica

La distribución de estas competencias entre los diferentes módulos y materias es la que se especifica en la tabla siguiente:

	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5	CG6	CG7	CG8	CG9	CG10	CG11	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6	CE7
Materia: Fundamentos de Física Estelar (Módulo de Formación Básica)																												
Atmósferas Estelares	X			X	X	X	X	X		X	X	X		X				X		X	X	X	X	X	X	X		X
Medio Interestelar	X			X	X	X	X	X		X	X	X		X				X		X	X	X	X	X	X	X		X
Materia: Fundamentos de Astrofísica Extragaláctica (Módulo de Formación Básica)																												
Formación y Evol. de Galaxias	X			X	X	X	X	X		X	X	X		X				X		X	X	X	X	X	X	X		X
Materia: Fundamentos de Instrumentación Astronómica (Módulo de Formación Básica)																												
Instrumentación Astronómica	X			X	X	X	X	X		X	X	X		X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X
Materia: Física de Objetos Estelares y Subestelares (Módulo de Formación Avanzada)																												
Sistema Solar y Exoplanetas	X			X	X	X	X	X		X	X	X		X		X		X		X	X	X	X	X	X	X		X
Estrellas Frías y Objetos Subest.	X			X	X	X	X	X		X	X	X		X		X		X		X	X	X	X	X	X	X		X
Materia: Instrumentación y Técnicas Experimentales en Astrofísica (Módulo de Formación Avanzada)																												
Técnicas Experiment. en Astrof.	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Astrofísica de Altas Energías	X			X	X	X	X	X		X	X	X		X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Análisis de Datos y Tecn. Estad.	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X
Materia: Astrofísica Extragaláctica y Cosmología (Módulo de Formación Avanzada)																												
Dinámica de Galaxias	X			X	X	X	X	X		X	X	X		X		X		X		X		X	X	X	X	X		X
Física del Modelo Cosmol. Estan.	X				X	X	X	X		X	X	X		X						X	X	X	X	X	X	X		X
Materia: Temas Avanzados en Astrofísica (Módulo de Formación Avanzada)																												
Temas Avanzados en Astrofísica	X				X	X						X		X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X
Materia: Trabajo Fin de Máster (Módulo de Trabajo Fin de Máster)																												
Trabajo Fin de Máster	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Materia: Prácticas en Empresa (Módulo de Prácticas en Empresa)																												
Prácticas en Empresa	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X			X	X

2.4. Complementos de Formación

Para ser admitido al Máster, la persona solicitante necesita haber adquirido previamente conocimientos básicos en Astronomía y Astrofísica General, Astrofísica Estelar y Extragaláctica, y Cosmología. Para acreditar estos conocimientos, deberán haberse superado con anterioridad idealmente un mínimo de 18 créditos ECTS en asignaturas que incluyan dichos contenidos o similares.

En el caso de no cumplir este requisito, la persona solicitante podrá matricularse del Máster de manera normal, pero luego en septiembre deberá matricularse de hasta un máximo de 18 créditos en COMPLEMENTOS DE FORMACIÓN. Los créditos de estos complementos no estarán incluidos en los 60 créditos del Máster. Estos complementos se podrán obtener, de entre otras posibles ofertas, cursando asignaturas con contenidos en Astrofísica incluidas en los actuales planes de estudios del Grado en Física de la UCM ("Astrofísica", "Astrofísica Estelar", "Astrofísica Extragaláctica", "Astronomía Observacional", "Cosmología", y "Relatividad General y Gravitación").

Para resumir los contenidos de estas asignaturas se dan a continuación algunos descriptores:

- "Astrofísica": Observación Astronómica – Propiedades de las estrellas – Propiedades de las Galaxias.
- "Astrofísica Estelar": Parámetros fundamentales de las estrellas – Modelos estelares – Evolución estelar.
- "Astrofísica Extragaláctica": Clasificación de galaxias – Propiedades físicas – Estructura a gran escala.
- "Astronomía Observacional": Conceptos básicos de Astronomía de Posición – Iniciación a la observación – Fundamentos de instrumentación Astronómica.
- "Cosmología": Cosmología Observacional – Modelos Cosmológicos.
- "Relatividad General y Gravitación": Relatividad General – Colapso Gravitacional.

En cada caso, y atendiendo a su formación previa, la Comisión del Máster notificará qué Complementos de Formación son necesarios. El alumnado no podrá obtener el título de Máster hasta no haber superado dichos complementos, en el caso de que los necesitase. Teniendo presente que la formación de un/a estudiante puede ser muy heterogénea, la Comisión deberá dar un veredicto para cada caso particular.

Como se explica anteriormente, de forma general, una persona graduada que cumpla los requisitos del perfil de ingreso debería hacer de 0 a 18 créditos de Complementos de Formación dependiendo de los créditos relacionados con astrofísica que haya cursado en su titulación. En el caso general de cualquier persona graduada en Física o similar que no haya cursado ninguna asignatura de Astrofísica, necesitará los 18 créditos en Complementos de Formación. En este caso la asignatura "Astrofísica" sería obligatoria, quedando los otros 12 créditos a determinar en función del interés concreto del estudiante.

Asignaturas del Grado en Físicas elegibles como Complementos de Formación:

Código	**Tercero de Grado**	Materia	Módulo	Tipo*	ECTS
800507	Astrofísica	Obligatoria de Física Fundamental	Física Fundamental	OI	6
Código	**Cuarto de Grado**	Materia	Módulo	Tipo	ECTS
800529	Astrofísica Estelar	Astrofísica y Cosmología	Física Fundamental	OP	6
800530	Astrofísica Extragaláctica	Astrofísica y Cosmología		OP	6
800531	Astronomía Observacional	Astrofísica y Cosmología		OP	6
800532	Cosmología	Astrofísica y Cosmología		OP	6
800533	Relatividad General y Gravitación	Astrofísica y Cosmología		OP	6

*Tipo de asignatura: **OI:** obligatoria de itinerario, **OP**: optativa de itinerario

Los horarios, contenidos y otros detalles se pueden encontrar en la Guía Docente del Grado en Física, en http://fisicas.ucm.es/guiasdocentes

2.5. Requisitos de acceso y Criterios de Admisión

Para solicitar admisión a las enseñanzas de Máster será necesario encontrarse en alguna de las siguientes situaciones:

a) Estar en posesión de un título oficial español (título de Grado o equivalente, título de Licenciado, Ingeniero o Arquitecto, o título de Diplomado o Ingeniero Técnico)
b) Estar en posesión de un título expedido por una institución del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) y que faculte en el país de expedición para acceder a las enseñanzas de Máster.
c) Los titulados de sistemas educativos ajenos al EEES podrán solicitar admisión sin necesidad de homologación de sus títulos, previa comprobación por parte de la Universidad de que estos estudios acreditan un nivel de formación equivalente a los títulos universitarios españoles y que facultan, en el país que expidió el título, para acceder a estudios de Postgrado.

El perfil de ingreso recomendado sería el de persona con un Grado o Licenciatura en Física, Matemáticas o título de Ingeniería. Aparte de estas titulaciones preferentes, también se considera la posibilidad de acceder desde otras titulaciones de ámbito científico siempre que la persona solicitante haya adquirido una base físico-matemática adecuada. En este caso, será la Comisión Coordinadora del Máster la que valore si dicha titulación es adecuada para la realización del Máster en Astrofísica, dependiendo del perfil académico particular.

Requisitos de titulación o titulaciones equivalentes: Grado en Física o área afín.

Criterios de valoración y su ponderación:
Se especifica el máximo número de puntos para un total de 100:

- 60. Expediente académico en la titulación de acceso
- 10. Currículum Vitae
- 25. Adecuación del perfil de la persona solicitante a los objetivos y contenidos del programa
- 5. Otros méritos

2.6. Reconocimiento de créditos

Las personas solicitantes que hayan cursado créditos de Astrofísica a nivel de Máster, pueden solicitar hasta un máximo de 24 créditos en forma de reconocimiento de créditos. Ningún crédito de Grado es reconocible. La solicitud se lleva a cabo en el mismo proceso de automatrícula, marcando el/la solicitante aquellas asignaturas para las que considera que puede haber una coincidencia de contenidos y por lo tanto pueden ser reconocidos. En caso de duda se podrá pedir la orientación de la coordinación del Máster. Los créditos reconocidos se pagan con una tasa del 25% del valor normal de un crédito. El reconocimiento definitivo no ocurre hasta que, a comienzos de curso, una vez pasado el período de matrícula, la comisión coordinadora se pronuncia respecto a cada caso.

NOTA IMPORTANTE: Cuando la/el alumno/a se matricule del máster, además de marcar las asignaturas para las que se solicita reconocimiento al hacer automatrícula, deberá posteriormente rellenar una solicitud por escrito y entregarla por Registro, incluyendo la documentación acreditativa.

3. Coordinación y Sistema de Garantía Interno de Calidad (SGIC)

3.1. Comisión coordinadora del Máster

El Máster en Astrofísica dispone de una Comisión Coordinadora del Máster dirigida por un/a coordinador/a. El principal cometido de la comisión es actuar como nexo de unión entre el profesorado, el alumnado y las administraciones, coordinando a todas las personas involucradas en aras de un buen funcionamiento del Máster. Con este fin se llevarán a cabo reuniones periódicas.
La persona encargada de la coordinación mantendrá una comunicación constante con el personal docente y el alumnado, convocando reuniones del profesorado cuando lo considere oportuno. Además, el/la coordinador/a del Máster se integrará en la Comisión de los Másteres de la Facultad.

3.2. Comisión de Calidad de Estudios de Máster

En la Facultad de Ciencias Físicas existe una Comisión de Calidad de Estudios de Máster que dependerá directamente de la Comisión de Calidad de la Facultad de Ciencias Físicas, en donde estará representada a través del/la Vicedecano/a de Calidad y del/la Vicedecano/a de Estudios de Grado y Máster de la Facultad de Ciencias Físicas.

La Comisión de Calidad de Estudios de Máster de la Facultad de Ciencias Físicas tiene como misión identificar, analizar y proponer a la Comisión de Calidad de la Facultad soluciones a problemas o ineficiencias detectadas en el desarrollo de la actividad docente.

3.3. Buzón de quejas y sugerencias

La Comisión de Calidad de la Facultad atenderá cualquier queja de manera estrictamente confidencial. Puede utilizarse el correo electrónico de Decanato secredec@fis.ucm.es o utilizar el buzón convencional que se encuentra en la oficina Erasmus de la planta 1 (junto a Decanato). Los formularios de reclamaciones y sugerencias están disponibles en la página https://fisicas.ucm.es/calidad.
También se puede utilizar el sistema general que la UCM tiene implementado. https://www.ucm.es/buzon-de-sugerencias-y-quejas.

4. Fichas de las Asignaturas

Ficha de la asignatura:	**Atmósferas Estelares**			Código	606750
Materia:	Fundamentos de Física Estelar	**Módulo:**	Formación Básica		
Carácter:	Obligatoria	**Curso:**	1º	**Semestre:**	1º

	Total	Teóricos / Problemas	Prácticas de laboratorio
Créditos ECTS:	6	5	1
Horas presenciales	45	27	18

Profesor/a Coordinador/a:	Nicolás Cardiel López		**Dpto:**	FTA
	Despacho:	00.322.0	**e-mail**	cardiel@ucm.es

Teoría / Problemas - Detalle de horarios y profesorado					
Aula	**Día**	**Horario**	**Profesor**	**Horas**	**Dpto.**
13	M J	10:00-11:30 10:00-11:30	Nicolás Cardiel	27	FTA

Prácticas de laboratorio - Detalle de horarios y profesorado				
Lugar	**Sesiones**	**Profesor**	**Horas**	**Dpto.**
Aula 13	Mismo horario de clase	Nicolás Cardiel	18	FTA

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	**horarios**	**e-mail**	**Lugar**
Nicolás Cardiel (*)	M: 11:30-13:30 M: 15:30-17:30	cardiel@ucm.es	00.322.0, Pl. Baja Oeste

(*) (+2h no presenciales): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, CV, etc., en días laborables.

Competencias (ver tabla en página 7)
CB6, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG5, CG6, CG7, CG9, CT2, CT4, CT5, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE7

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

En esta asignatura se le proporciona al alumnado los conocimientos fundamentales para profundizar en los mecanismos físicos que tienen lugar en el seno de las estrellas. El conocimiento teórico de las atmósferas estelares permite el modelado de las capas externas de las estrellas que son las que emiten la radiación observada y, por tanto, son accesibles a la observación directa. En esta asignatura se pretende que cada estudiante adquiera conocimientos básicos sobre una atmósfera estelar y la transferencia radiativa, que obtenga las habilidades para el cálculo de un modelo teórico de atmósfera estelar y que aprenda las principales técnicas para interpretar los espectros observados.

Resumen

Propiedades físicas de las atmósferas estelares y condiciones de equilibrio; estudio de la transferencia radiativa, su ecuación y métodos de resolución; fuentes de opacidad para el espectro continuo; construcción de un modelo de atmósfera estelar; estudio de espectro de líneas, sus ensanchamientos; determinación de abundancias químicas.

Conocimientos previos necesarios

Conocimientos de Astrofísica General y Astrofísica Estelar

Programa de la asignatura

Tema 1.Introducción

Parámetros observaciones de las estrellas: magnitudes, colores, diagrama color-magnitud, clasificación espectral. Parámetros fundamentales de una atmósfera estelar: temperatura efectiva, gravedad en la superficie y composición química.

Tema 2. Fundamentos de la transferencia radiativa

Intensidad específica, flujo y presión de radiación. Emisión de un cuerpo negro y equilibrio termodinámico. Densidad de energía y presión de radiación. Interacción materia-radiación. Transferencia radiativa a través de un gas: la función fuente. Líneas de absorción y de emisión. Transferencia radiativa en atmósferas estelares. Oscurecimiento hacia el limbo y temperatura efectiva. Flujo superficial. Equilibrio radiativo. Atmósfera gris y estratificación de temperaturas.

Tema 3. Fuentes de opacidad en el continuo

Revisitando la física atómica. Fenómenos de absorción de la radiación. Ecuación de excitación: ecuación de Boltzmann. Ecuación de ionización: ley de Saha. Combinando las leyes de Boltzmann y de Saha. Procesos de absorción para el hidrógeno. Absorción del ion negativo del átomo de hidrógeno. Absorción del helio. Otras fuentes de absorción en el continuo.

Tema 4. Modelos de atmósferas estelares

Introducción. La estratificación de temperaturas. Definiendo un coeficiente de absorción medio. Ecuación de equilibrio hidrostático. Transporte convectivo de energía. Resultados del cálculo de modelos de atmósferas.

Tema 5. Líneas espectrales

Clasificación espectral. Anchuras equivalentes. Coeficientes de Einstein. Ensanchamiento de líneas espectrales. Perfil de Voigt. Revisitando la función fuente. Profundidad de formación de las líneas espectrales. Sensibilidad de las líneas a la temperatura y la presión. Sensibilidad de las líneas a la abundancia: curvas de crecimiento. La composición química solar. Uso de anchuras equivalentes y síntesis espectral. Campos de velocidades en las fotosferas.

Programa de prácticas

Es conveniente que las/los estudiantes puedan utilizar su propio ordenador portátil para realizar las prácticas en el aula.

1. Breve introducción a Python y a la utilización de cuadernos de Jupyter.
2. Ejemplos de resolución de los problemas de clase utilizando Python.
3. Desarrollo de un modelo de atmósfera estelar: variación de los parámetros físicos con la profundidad óptica.

Bibliografía

- The observation and analysis of stellar photospheres, 4th edition
D. F. Gray, 2021, Cambridge University Press

- Introduction to Stellar Astrophysics: Volume 2, Stellar Atmospheres
E. Böhm-Vitense. 1997, Editorial: Cambridge University Press

- Theory of Stellar Atmospheres: An Introduction
I. Houbney y D. Mihalas, 2015, Princeton University Press

- An Introduction to Modern Astrophysics
B.W. Carroll y D.A. Ostlie, 2017, 2nd edition, Cambridge University Press

Recursos en internet

- Campus virtual en el que se incluirá todo el material docente que se vaya precisando a lo largo del curso.

Metodología

- Lecciones de teoría donde se explicarán los principales conceptos de la asignatura.
- Clases de problemas.
- Prácticas de laboratorio: resolución de ejercicios prácticos utilizando Python en cuadernos de Jupyter.

Evaluación

Realización de exámenes	Peso:	70%

El examen tendrá una parte de cuestiones teóricas y otra parte de problemas (de nivel similar a los resueltos en clase).

Otras actividades de evaluación	Peso:	30 %

Se realizarán, entre otras, las siguientes actividades de evaluación continua:

- Participación en la clases prácticas de laboratorio.
- Entrega de resultados de las prácticas.

Calificación final
La calificación final será: N_{Final}=0.70$N_{Exámen}$+0.30$N_{OtrasActiv}$, donde $N_{Exámen}$ y $N_{OtrasActiv}$ son (en una escala 0 a 10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores

Ficha de la asignatura:	Medio Interestelar			Código	606751
Materia:	Fundamentos de Física Estelar	Módulo:	Formación Básica		
Carácter:	Obligatoria	Curso:	1º	Semestre:	1º

	Total	Teóricos / Problemas	Prácticas de laboratorio
Créditos ECTS:	6	5	1
Horas presenciales	45	27	18

Profesor/a Coordinador/a:	Patricia Sánchez-Blázquez		Dpto:	FTA
	Despacho:	00.321.0	e-mail	psanchezblazquez@ucm.es

Teoría / Problemas - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo / Fechas	Horas	Dpto.
13	X J	10:00-11:30 11:30-13:00	Patricia Sánchez-Blázquez	Todo el cuatrimestre	27	FTA

Prácticas de laboratorio - Detalle de horarios y profesorado				
Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.
Aula 13	X: 10:00 – 11:30 J: 11:30 – 13:00	Patricia Sánchez Blázquez	18	FTA

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
P. Sánchez-Blázquez (*)	M: 15:30 – 16:30 J: 15:30 – 17:30	psanchezblazquez@ucm.es	00.321.0, Pl. Baja Oeste

(*)(+3h no presenciales): Horas de tutoría no presenciales, X: 15:30-16:30 y V: 10:30-12:30

Competencias (ver tabla en página 7)
CB6, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG5, CG6, CG7, CG9, CT2, CT4, CT5, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE7

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)
En esta asignatura el alumnado adquiere los conocimientos necesarios para comprender los diferentes componentes del medio interestelar y a obtener información de las condiciones físicas del gas a partir de transiciones iónicas, atómicas y moleculares. Se estudian las propiedades de las regiones ionizadas, gas atómico y molecular y su importancia para los estudios de formación estelar, formación y evolución de galaxias y cosmología. Así mismo, se describirán las propiedades del polvo y la extinción interestelar, así como los procesos de emisión. Se estudiarán los avances recientes en el ámbito de conocimiento y las principales incertidumbres.

Resumen
Componentes y fases del medio interestelar. Procesos físicos en el gas interestelar y procesos radiativos en el gas interestelar. Regiones ionizadas, cálculo de condiciones físicas, fuente de ionización y abundancias químicas. Radioastronomía. Gas atómico. La línea HI 21cm. Estructura de la Galaxia. Composición del polvo interestelar. Propiedades de los granos. Extinción interestelar. Formación y destrucción de moléculas interestelares. Nebulosas gaseosas. Nubes moleculares, formación estelar espontánea e inducida .

Conocimientos previos necesarios
Astrofísica General. Recomendable conocimientos de Física Atómica y Molecular.

Programa de la asignatura

1. EL MEDIO INTERESTELAR:
   - Composición y extensión.
   - Fases.
   - Medio Interestelar en nuestra galaxia
2. EQUILIBRIO RADIATIVO Y CINETICO:
   - Equilibrio Termodinámico.
   - Procesos de excitación.
   - Procesos radiativos
3. Regiones fotoionizadas:
   - Equilibrio de fotoionización.
   - Balance energético.
   - Líneas de recombinación y líneas colisionales.
   - Determinación de temperatura y densidad electrónicas.
   - Determinación de abundancias químicas en regiones HII
   - Determinación de abundancias químicas en galaxias externas.
   - Núcleos Activos de Galaxias
4. Gas atómico:
   - Línea HI 21cm
     - determinación de la estructura
     - determinación de curvas de rotación
     - determinación de la densidad de columna
   - Absorciones en el gas atómico
     - Absorción Lyα
     - Absorción de otros elementos: determinación de abundancias químicas
5. Gas molecular:
   - Transiciones moleculares
   - La transición del CO
     - determinación de densidad de columna H_2
     - determinación de las condiciones físicas del gas
   - Trazadores de gas denso
   - Nubes moleculares y paradigma de formación estelar.
   - Equilibrio dinámico de las nubes moleculares.
   - Interacción entre los vientos estelares y el MI.
   - Campos magnéticos.
   - La función inicial de masas.
6. POLVO EN EL MEDIO INTERESTELAR
   - Importancia del polvo para la formación de moléculas

- Extinción provocada por el polvo
- Emisión del polvo

Bibliografía

Básica:
- "The Physics of the Interstellar Medium", 2010
J.E. Dyson & D.A. Willians. Institute of Physics Publishing. Bristol.
- "Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei", 2006
D.E. Osterbrock. University Science Books, California
- "Physics of the interstellar and intergalactic medium", 2010
B. T. Draine. Princeton Univ. Press.
- "Radio Astronomy". 1986. J.D. Kraus. Cygnus Quasar Books.
- "Tools of Radio Astronomy". 2009. K. Rohlfs. Springer Verlag.

Especializada:
- "Physics of the Galaxy and Interstellar Matter", 1987
H. Scheffler & H. Elsasser.
Springer-Verlag. Heidelberg.
- "Physical Processes in the Interstellar Medium", 2008
L. Spitzer. John Wiley & Sons.
- "Radiative Processes in Astrophysics", 2008
G.B. Rybicki & A.P. Lightman. John Wiley & Sons.

Recursos en internet

- Campus Virtual.
- Página web de la asignatura.

Metodología

La asignatura se desarrolla mediante clases magistrales de teoría y prácticas de laboratorio en el aula de informática.

Evaluación

Realización de exámenes	Peso:	70%

El examen tendrá una parte de preguntas teórico-prácticas y otra parte de cuestiones relacionadas con los trabajos realizados durante el curso.

Otras actividades de evaluación	Peso:	30%

- Realización de prácticas
- Participación en las discusiones.

Calificación final

La calificación final será $N_{Final}=0.7N_{Examen}+0.3N_{OtrasActiv}$, donde N_{Examen} y $N_{OtrasActiv}$ son (en una escala 0-10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores. Será necesario sacar como mínimo un 4 (sobre 10) en cada una de las partes para que estas contribuyan a la calificación final.

Ficha de la asignatura:	**Formación y Evolución de Galaxias**	Código	606752
Materia:	Fundamentos de Astrofísica Extragaláctica	**Módulo:**	Formación Básica
Carácter:	Obligatoria	**Curso:**	**Semestre:** 1º

	Total	Teóricos / Problemas	Prácticas de laboratorio
Créditos ECTS:	6	5	1
Horas presenciales	45	27	18

Profesor/a Coordinador/a:	Patricia Sánchez-Blázquez		**Dpto:**	FTA
	Despacho:	00.321.0	**e-mail**	psanchezblazquez@ucm.es

Teoría/Problemas - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	**Día**	**Horario**	**Profesor**	**Periodo/Fechas**	**Horas**	**Dpto.**
13	M X	11:30 – 13:00 13:00 – 14:30	Patricia Sánchez-Blázquez	Primera mitad de la asignatura	13.5	FTA
			Maritza Lara-López	Segunda mitad de la asignatura	13.5	FTA

Prácticas de laboratorio - Detalle de horarios y profesorado					
Grupo	**Lugar**	**Sesiones**	**Profesor**	**Horas**	**Dpto.**
A	Aula 13 (Para las sesiones de prácticas se recomienda el uso de un PC portátil)	Sesiones con fechas por definir	P. Sánchez-Blázquez y M. Lara López	18	FTA

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	**horarios**	**e-mail**	**Lugar**
Patricia Sánchez-Blázquez (*)	M: 15:30 a 16:30 J: 15:30 a 17:30	psanchezblazquez@ucm.es	00.321.0, Pl. Baja Oeste
Maritza Lara-López (**)	L, J de 11:30 a 13:00	maritzal@ucm.es	04.224.0, 4ª Pl. Central

(*) (3h no presenciales): Horas de tutoría online: X: 15:30 a 16:30 y V: 10:30 a 12:30
(**) (3h no presenciales): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, CV, etc., en días laborables.

Competencias (ver tabla en página 7)
CB6, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG5, CG6, CG7, CG9, CT2, CT4, CT5, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE7

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

El objetivo de esta asignatura es ofrecer al alumnado una formación sólida en las disciplinas de la formación y evolución de galaxias, de las estructuras que forman en un marco cosmológico y su comparación con datos observacionales. Gracias a los importantes desarrollos en la tecnología de computadores y en las técnicas numéricas de estos últimos años, es ahora posible realizar este estudio a partir de primeros principios físicos a través de modelos teóricos y simulaciones numéricas por ordenador. Además, el estudio de las poblaciones estelares en cúmulos y galaxias es actualmente uno de los métodos fundamentales para estudiar la formación y evolución de dichos sistemas estelares. En esta materia se estudiarán en detalle las diferentes técnicas de análisis de las poblaciones junto con los resultados obtenidos al aplicarlas a galaxias y cúmulos reales. Por otro lado, los desarrollos tecnológicos en instrumentación astronómica han permitido una mejora exponencial en la cantidad y calidad de datos disponibles actualmente. Esta materia proporciona a cada estudiante una visión actualizada sobre la naturaleza y evolución de las galaxias a diferentes desplazamientos al rojo, lo que se corresponde con las diferentes épocas cosmológicas o edades del Universo. Se estudian las técnicas utilizadas para el análisis de objetos distantes, los conocimientos actuales sobre el tema, los mecanismos físicos involucrados, y las consecuencias para nuestro conocimiento de la evolución del Universo.

Resumen

Breve descripción de contenidos:

Teoría y modelos sobre la formación y evolución de galaxias (y sus componentes) y estructuras:

Introducción. Modelo cosmológico estándar. Modelos de formación de estructuras. Modelos de evolución de galaxias. Modelos alternativos. Formación de estructuras dentro del modelo estándar de evolución de galaxias. Simulaciones de N cuerpos e hidrodinámicas.

Observaciones de galaxias a lo largo de la historia del Universo:

Introducción. La Vía Láctea. Galaxias en el Grupo y Volumen locales. Galaxias cercanas. Cúmulos y grupos de galaxias. Exploraciones de galaxias cercanas y cosmológicas y sus principales parámetros. Componentes estructurales de las galaxias. Evolución química estelar y del ISM. Análisis de las poblaciones estelares resueltas y no resueltas. Relaciones de escala. AGN, galaxias ultraluminosas y evolución de la Tasa de Formación Estelar. Galaxias a alto desplazamiento al rojo. Evolución del IGM. Cuestiones abiertas en formación y evolución de galaxias.

Conocimientos previos necesarios

Conocimientos de Astrofísica general, observacional y extragaláctica.

Programa de la asignatura

1. **Teoría y modelos sobre formación de galaxias (y sus componentes) y estructuras.**
   - **1.1 Introducción**: visión general sobre la evolución cosmológica del Universo.
   - **1.2 Modelo cosmológico estándar**: Evolución temprana de la materia bariónica. Análisis de la radiación de fondo de microondas. Formación de galaxias en dos etapas. Enfriamiento del gas primordial.

1.3 Primeras galaxias: Formación de las primeras galaxias. Formación de las primeras estrellas, multiplicidad y Función Inicial de Masas primordial. Reionización. Evidencias observacionales de reionización.
1.4 Modelos de formación de estructuras: Teoría lineal de perturbaciones. Colapso gravitatorio y relajación acolisional. Propiedades de los halos: formalismo Press-Schechter y EPS, árbol de fusiones, “halo bias”, sub-estructura. Enfriamiento del gas y formación estelar. Simulaciones de N-cuerpos. Simulaciones hidrodinámicas. Modelos semi-analíticos.
1.5 Modelos de formación de estructuras y de la secuencia de Hubble. Formación de galaxias elípticas. Formación de galaxias espirales. Efectos del entorno y transformación morfológica. Formación de barras y brazos espirales. Resonancias y dinámica básica de discos. Evolución secular.

2. **Observaciones sobre formación y evolución de galaxias y estructuras.**
2.1 Introducción: La Vía Láctea y las galaxias del Grupo Local. Secuencia morfológica de Hubble. Propiedades multi-frecuencia de las galaxias y sus componentes. Estrellas, gas y polvo en galaxias.
2.2 Exploraciones de galaxias: Exploraciones de galaxias cercanas. Principales parámetros de exploración de galaxias. Cuentas de galaxias, funciones de luminosidad. Efectos de selección: magnitud límite, muestras limitadas en volumen, magnitud, diámetro. *Malquist bias*. Exploraciones cosmológicas.
2.3 Estudio de las componentes estructurales de las galaxias: propiedades de escala (tamaño, brillo superficial). Clasificación automática de galaxias.
2.4 Estudio de las componentes estructurales de las galaxias: propiedades espectro-fotométricas, químicas y dinámicas.
2.5 Poblaciones estelares resueltas en galaxias externas: Evolución estelar y análisis de diagramas color-magnitud en galaxias del Grupo Local. Arqueología galáctica.
2.6 Relaciones de escala: Ley de Freeman, de Tully-Fisher, Kormendy, Faber-Jackson. Plano fundamental de las galaxias elípticas. Implicaciones de las relaciones de escala sobre la formación y evolución de galaxias elípticas y espirales. Teoría del "*Fundamental Manifold*".
2.7 Poblaciones estelares: Síntesis de poblaciones estelares no resueltas. Evolución química. Modelos idealizados de la evolución química y espectrofotométrica de componentes galácticas.
2.8 Formación estelar y actividad nuclear a través de la historia del Universo: Galaxias con núcleos activos (AGN). Galaxias luminosas y ultra-luminosas infrarrojas. Trazadores de la Tasa de Formación Estelar (SFR). Evolución de la SFR. Diagrama de Madau.
2.9 Propiedades de galaxias a altos desplazamientos al rojo: Exploraciones cosmológicas. Evolución en luminosidad, densidad, morfología y tamaño, tasa de formación estelar, abundancias con el desplazamiento al rojo. *Downsizing*. Formación y evolución de galaxias elípticas y espirales. Evolución del IGM.
2.10 Cuestiones abiertas dentro del actual paradigma de formación y evolución de galaxias y estructuras.

Programa de prácticas:

1. Análisis de árboles de fusiones en simulaciones numéricas (2 sesiones).
2. Diagramas Color–Magnitud sintéticos para el estudio de la evolución de galaxias del Grupo Local (2 sesiones).

Bibliografía

- Galaxy Formation and Evolution, H. Mo, F. van den Bosch, S. White, Cambridge, 2010.
- Extragalactic Astronomy & Cosmology, An Introduction, P. Schneider, Springer, ediciones de 2006 y 2015.
- Galaxies in the Universe, An Introduction, L.S. Sparke & J.S. Gallagher, III, Cambridge, 2007.
- An Introduction to Modern Astrophysics, B.W. Carroll & D.A. Ostlie, Pearson-Addison Wesley, 2007

Recursos en internet

- Campus Virtual
- NED Level 5 en http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5
- ADS en https://ui.adsabs.harvard.edu/
- Simulación Millennium (MPA a través GAVO) (práctica 1): http://gavo.mpa-garching.mpg.de/Millennium/
- Código IAC-STAR (práctica 2): http://iac-star.iac.es/cmd/index.htm

Metodología

Se desarrollarán las siguientes actividades formativas:

- Lecciones de teoría donde se explicarán los principales conceptos de la asignatura
- Prácticas:
  - Análisis de árboles de fusiones en simulaciones numéricas.
  - Diagramas CMD sintéticos para el estudio de la evolución de galaxias del Grupo Local

Evaluación

Realización de exámenes	Peso:	70%

El examen tendrá una parte de cuestiones teóricas y otra parte de cuestiones sobre los trabajos / prácticas.

Otras actividades de evaluación	Peso:	30%

Se realizarán, entre otras, las siguientes actividades de evaluación continua:

- Realización y entregas de 2 trabajos / prácticas. El resultado de cada trabajo supondrá un 15% de la nota final.

Calificación final

La calificación final se obtendrá a partir del siguiente cálculo $N_{Final}=0.70N_{Examen}+0.30N_{OtrasActiv}$, donde N_{Examen} y $N_{OtrasActiv}$ son (en una escala 0 a 10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores. Será necesario sacar como mínimo un 4 (sobre 10) en cada una de las partes para que estas contribuyan a la calificación final.

Ficha de la asignatura:	**Instrumentación Astronómica**	Código	606753

Materia:	Fundamentos de Instrumentación Astronómica	**Módulo:**	Formación básica		
Carácter:	Obligatoria	**Curso:**	1º	**Semestre:**	1º

	Total	Teóricos / Problemas	Prácticas de laboratorio
Créditos ECTS:	6	5	1
Horas presenciales	45	27	18

Profesor/a Coordinador/a:	Jesús Gallego Maestro		**Dpto:**	FTA
	Despacho:	00.314.0	**e-mail**	j.gallego@ucm.es

Teoría / Problemas - Detalle de horarios y profesorado

Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo / Fechas	Horas	Dpto.
13	M X	13:00 – 14:30 11:30 – 13:00	Jesús Gallego Maestro	A lo largo del semestre	27	FTA

Prácticas de laboratorio - Detalle de horarios y profesorado

Grupo	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.
A	Aula de informática	12 sesiones a lo largo del semestre, en el mismo horario que las clases de Teoría	Armando Gil de Paz	18	FTA

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado

Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Jesús Gallego Maestro (*)	L y X: 15:30 a 17:00	j.gallego@ucm.es	00.314.0, Pl. Baja Oeste
Armando Gil de Paz (*)	M y J: 13:30 a 15:00	agil@fis.ucm.es	00.323.0, Pl. Baja Central

(*) (3h no presenciales): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, CV, etc., en días laborables.

Competencias (ver tabla en página 7)

CB6, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG5, CG6, CG7, CG9, CG11, CT1, CT2, CT4, CT5, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE7

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

La comunidad astronómica internacional está embarcada en el desarrollo de grandes instalaciones astronómicas (telescopios espaciales de nueva generación, telescopios gigantes de 30 y 40m, radio-interferómetros de múltiples antenas) y toda una batería de instrumentos de enorme complejidad que requieren inversiones de muchos millones de euros. Es fundamental que el personal investigador en Astrofísica reciba la formación adecuada para explotar científicamente de una manera óptima todas estas instalaciones e instrumental. Esta materia se dedica a la Física de las observaciones astronómicas estudiando en detalle los telescopios e instrumentos que se emplean en la observación, desde los tradicionales empleados en el óptico y radio a los más modernos de Astronomía en otras longitudes de onda. Se pondrá especial atención en introducir al alumnado en la instrumentación avanzada que se utiliza en el mundo profesional.

Resumen

Telescopios ópticos. Grandes telescopios. Radiotelescopios de antena única e interferómetros. Telescopios espaciales. Detectores. Detectores CCD. Detectores en el infrarrojo cercano, lejano y sub-milimétrico. Telescopios de altas energías. Detectores de Ondas Gravitatorias.

Conocimientos previos necesarios

Conocimientos de Astrofísica General.

Programa de la asignatura

1. **Telescopios**
   Diseños de telescopios, focos, diseños mecánicos, óptica activa, óptica adaptativa, telescopios segmentados y semi-fijos, telescopios solares. Radio antenas.
2. **Telescopios profesionales**
   Grandes observatorios en la actualidad. Instrumentos de grandes telescopios. Futuros observatorios en Tierra.
3. **Detectores CCD**
   Principio de detección y estructura de un CCD, registros de lectura y salida, transferencia de carga, criostatos, cosmética de CCDs. Relación señal-ruido, ruido de lectura, nivel de *bias*, corriente de oscuridad (*dark*), corrección de *flat-field*, saturación, *binning*, *aliasing*.
4. **Espectrómetros**
   Parámetros. Dispersores. Prisma objetivo. Resolución espectral. Espectrógrafos sin rendija. Espectrógrafos de prismas. Componentes de un espectrómetro. Parámetros.
5. **Espectrógrafos de redes y técnicas de espectroscopía**
   Redes de difracción. Ecuación de la red. Eficiencia de las redes. Redes optimizadas. Dispersión. Solapamiento de órdenes. Espectrógrafos de red. Espectrógrafos de alta resolución. Espectrógrafos de grismas. Técnicas de espectroscopía multiobjeto y de campo integral: Rendija larga. Espectrógrafos de fibras. IFUs. Rebanadores de imagen.
6. **Detectores en el infrarrojo**
   Astronomía en el infrarrojo, el cielo en el infrarrojo, detectores de estado sólido, principio de funcionamiento, cosmética, fabricación, modos de lectura. *Bias, dark, flat field*, substracción del cielo. Observatorios en el infrarrojo lejano.

7. **Receptores en radio y sub-milimétrico**
   Receptores heterodinos y bolómetros. KIDs. Espectrómetros digitales. Radio Interferometría de corta, larga y muy larga base.
8. **Telescopios de altas energías y detectores de ondas gravitacionales**
9. **Telescopios espaciales**
   Ventajas e inconvenientes de la observación desde el Espacio. Observatorios espaciales en el Ultravioleta, *Hubble Space Telescope*, Spitzer, Herschel, *James Webb Space Telescope*. Misiones en desarrollo.

Estos 9 capítulos están distribuidos en los siguientes 5 temas:

Tema 1: Telescopios
Tema 2: Detectores
Tema 3: Espectroscopía y Espectrógrafos
Tema 4: Instrumentación infrarroja, radio, Rayos X y detectores de ondas gravitatorias
Tema 5: Telescopios espaciales

Programa de prácticas

1. Dispersión atmosférica.

2. Telescopios de altas energías y contrapartidas ópticas en catálogo

3. Eficiencia comparada de sistemas telescopio óptico - cámara CCD.

4. Determinación de los parámetros de un detector CCD (2 sesiones).

5. Preparación de observaciones para el *James Webb Space Telescope* (JWST).

6. Espectroscopía de campo integral (2 sesiones).

Las prácticas se llevarán a cabo en el aula A15, a excepción de la práctica 4 que se llevará a cabo en las aulas 2 y 3 de la cuarta planta (por confirmar).

Bibliografía

- Astrophysical Techniques, 2010, C.R. Kitchin. Adam Hilger ltd. Bristol
- Astronomical Observations, 1987, G. Walker. Cambridge University Press
- Electronic and Computer-Aided Astronomy, 1989, I.S. McLean, Ellis Horwood ltd. John Wiley & Sons
- Tools of Radio Astronomy, 2004, K. Rohlfs & T. L. Wilson, Springer
- Detection of Light: from the UV to the submillimeter, 2003, G. Rieke. Cambridge Univ. Press.

Recursos en internet

– Campus virtual

<table>
<tr><th colspan="3">Metodología</th></tr>
<tr><td colspan="3">Se desarrollarán las siguientes actividades formativas:
▪ Lecciones de teoría donde se explicarán los principales conceptos de la asignatura
▪ Resolución de ejercicios prácticos
▪ Prácticas de laboratorio
El profesorado puede organizar para los alumnos visitas a laboratorios, instalaciones astronómicas o eventos según la oportunidad.</td></tr>
<tr><th colspan="3">Evaluación</th></tr>
<tr><td>Realización de exámenes</td><td>Peso:</td><td>60%</td></tr>
<tr><td colspan="3">El examen tendrá una parte de cuestiones teóricas y otra parte de cuestiones prácticas (de nivel similar a los resueltos en clase).</td></tr>
<tr><td>Otras actividades de evaluación</td><td>Peso:</td><td>40%</td></tr>
<tr><td colspan="3">Se realizarán, entre otras, las siguientes actividades de evaluación continua:
Realización y entregas de trabajos y prácticas.</td></tr>
<tr><th colspan="3">Calificación final</th></tr>
<tr><td colspan="3">La calificación final será $N_{Final} = 0.6N_{Examen} + 0.4N_{OtrasActiv}$, donde N_{Examen} y $N_{OtrasActiv}$ son (en una escala 0 a 10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores.
Será necesario sacar como mínimo un 4 (sobre 10) en N_{Examen} para que esta parte contribuya a la calificación final.</td></tr>
</table>

Ficha de la asignatura:	Sistema Solar y Exoplanetas			Código	606755
Materia:	Física de Objetos Estelares y Subestelares	Módulo:	Formación Avanzada		
Carácter:	Optativo	Curso:	1º	Semestre:	2º

	Total	Teóricos / Problemas	Prácticas de laboratorio
Créditos ECTS:	6	5	1
Horas presenciales	45	27	18

Profesor/a Coordinador/a:	David Montes Gutiérrez		Dpto:	FTA
	Despacho:	04.222.0	e-mail	dmontes@ucm.es

Teoría / Problemas - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
13	M J	10:30-12:00 16:00-17:30	David Montes Gutiérrez	Todo el segundo semestre salvo los días de prácticas	27	FTA

Prácticas de laboratorio – Detalle de horarios y profesorado					
Grupo	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.
A	Laboratorio alumnos (Sala entre cúpulas)	M: 10:30-12:00 J: 16:00-17:30	David Montes Gutiérrez	18	FTA

Tutorías – Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
David Montes Gutiérrez (*)	X y J: 12:00 a 13:30	dmontes@ucm.es	04.222.0, 4ª Pl. Central

(*) (3h no presenciales): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, CV, etc., en días laborables.

Competencias (ver tabla en página 7)
CB6, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG5, CG6, CG7, CG9, CG11, CT2, CT4, CT5, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE7

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

Se pretende formar al estudiante en los aspectos más importantes de la física del Sistema Solar, estudiándolo en su conjunto y en detalle para cada uno de los grupos principales de cuerpos que lo constituyen de manera comparativa. Con los avances de los programas espaciales de las últimas décadas, el Sistema Solar se ha convertido en una de las áreas con más potencial e impacto social de la Astrofísica. De gran relevancia en los últimos años por sus implicaciones sobre nuestro concepto de vida, una visión actual sobre sistemas planetarios en otras estrellas (exoplanetas) complementará la formación.

Resumen

El Sistema Solar como conjunto. La Tierra como planeta (Geofísica). Mercurio, Venus y Marte: planetas telúricos. Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno: planetas jovianos y sus satélites. Planetas enanos, objetos transneptunianos y cinturones principales, de Kuiper y de Oort. Planetas alrededor de otras estrellas (exoplanetas). Definición de exoplaneta. Métodos de detección. Diferentes tipos de exoplanetas. Formación y evolución de los exoplanetas. Caracterización de exoatmósferas. Zona de habitabilidad.

Conocimientos previos necesarios

Haber cursado el módulo de “Formación Básica” de Máster en Astrofísica. Se recomienda cursar también la asignatura de la misma materia “Estrellas Frías y Objetos Subestelares”.

Programa de la asignatura

1. **El Sistema Solar como conjunto.**
   Objetos del Sistema Solar ordenados por tamaño; parámetros básicos, distancias y escalas; misiones de exploración interplanetaria; impactos y resonancias; Sol, medio interplanetario y heliopausa; contexto galáctico.
2. **La Tierra como planeta.**
   Estructura interna; atmósfera y oceanosfera; campo magnético interno y externo; tiempo geológico; paleontología; la Luna.
3. **Mercurio, Venus y Marte: planetas telúricos**.
   Planetas terrestres: comparativa con la Tierra; geofísica: estructura interna; geología planetaria: cráteres de impacto vs. vulcanología; atmósferas: composición, estructura, dinámica.
4. **Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno: planetas jovianos y sus satélites.**
   Estructura interna. Atmósferas. Campos magnéticos. Anillos. Satélites.
5. **Planetas enanos, objetos transneptunianos, cinturón principal de asteroides, cinturón de Kuiper y nube de Oort.**
   Ceres y el Cinturón Principal de Asteroides. Cometas. Centauros. Plutón + Caronte y el Cinturón de Edgeworth-Kuiper. Disco disperso. Nube de Öpik-Oort.
6. **Formación del Sistema Solar.**
   Nebulosa protosolar. Disco planetario. Formación y evolución de planetas terrestres y asteroides, migración planetaria, bombardeo masivo tardío. Estabilidad. Cronología y futuro.

7. **Exoplanetas.**

7.1. Definición de exoplaneta. Planetas asociados a estrellas y objetos de masa planetaria aislados.
7.2. Métodos de detección: velocidad radial, tránsitos, microlentes gravitacionales, timing (púlsares, estrellas pulsantes, binarias eclipsantes), imagen directa, astrometría.
7.3. Diferentes tipos de exoplanetas: jupíteres calientes, neptunos calientes, minineptunos, supertierras, tierras y exotierras.
7.4. Formación y evolución: dependencia con los parámetros de la estrella. Interacciones estrella-planeta.
7.5. Caracterización de exoatmósferas. Espectroscopia de transmisión y emisión. Planetas cubiertos de agua y núcleos rocosos que han perdido su atmósfera.
7.6. Zona de habitabilidad. Definición convencional (agua líquida, tipo Tierra). Extensión a planetas secos, y con atmósfera de hidrógeno. Dependencia con el campo magnético, la presión y la composición. Biomarcadores.
7.7. Exolunas, exocometas, exomontañas, exoanillos, etc.

Programa de prácticas:

1. Determinación de la órbita de un exoplaneta a partir de datos de velocidad radial.
2. Determinación de los parámetros de un exoplaneta con tránsitos a partir de datos fotométricos.

Bibliografía

- "***Planetas***",
Anguita Virella, F. y Castilla Cañamero, G. (2010). Editorial Rueda S.L.
- "***The Solar System***",
T. Encrenaz et al., Springer-Verlag, 3rd edition (2004)
- "***Physics of the Solar System***",
B. Bertotti, P. Farinella, D. Vokrouhlicky, Astrophysics and Space Science Library, Vol. 293 (2003)
- "***Extrasolar Planets: Formation, Detection and Dynamics***",
Rudolf Dvorak (Ed.) Wiley, 2007
- "***Exoplanets Detection, Formation, Properties, Habitability***",
Mason John (Ed.) Series: Springer, 2008
- "***The Exoplanet Handbook***", 2nd Edition
Michael Perryman, Cambridge University Press, 2018
- "***Special Section: Exoplanets***" Science, 3 May 2013: Vol. 340 no. 6132

Recursos en internet

- Campus virtual en el que se incluirá todo el material docente
- NASA Solar System Exploration http://solarsystem.nasa.gov/planets/index.cfm
- Extrasolar planets: http://exoplanet.eu

Metodología
La asignatura combina clases magistrales de teoría y resolución de casos prácticos con la realización de prácticas en los laboratorios de la Facultad.

Evaluación		
Realización de exámenes	**Peso:**	60%
El examen tendrá una parte de tipo test sobre los temas del programa y una parte de cuestiones sobre los problemas y prácticas realizadas durante el curso.		
Otras actividades de evaluación	**Peso:**	40%
- Resolución de problemas y casos prácticos. - Realización de prácticas de laboratorio. - Informe de las prácticas realizadas.		
Calificación final		
La calificación final será $N_{Final}=0.6N_{Examen}+0.4N_{OtrasActiv}$, donde N_{Examen} y $N_{OtrasActiv}$ son (en una escala 0-10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores. Será necesario sacar como mínimo un 4 (sobre 10) en cada una de las partes para que estas contribuyan a la calificación final.		

Ficha de la asignatura:	Estrellas Frías y Objetos Subestelares	Código	606756
Materia:	Física de Objetos Estelares y Subestelares	Módulo:	Formación Avanzada
Carácter:	Optativo	Curso:	1º / Semestre: 2º

	Total	Teóricos / Problemas	Prácticas de laboratorio
Créditos ECTS:	6	5	1
Horas presenciales	45	27	18

Profesor/a Coordinador/a:	David Montes Gutiérrez	Dpto:	FTA
	Despacho: 04.222.0	e-mail	dmontes@ucm.es

Teoría - Detalle de horarios y profesorado

Aula	Días	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
13	M J	12:00-13:30 09:00-10:30	David Montes Gutiérrez	M: Cuando no hay sesión de Laboratorio J: Todo el segundo semestre	27	FTA

Prácticas de laboratorio - Detalle de horarios y profesorado

Grupo	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.
A	Laboratorio alumnos (Sala entre cúpulas)	M de 12:00-13:30	Miriam Cortés Contreras	18	FTA

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado

Profesor	horarios	e-mail	Lugar
David Montes Gutiérrez (*)	X y J: 12:00 a 13:30	dmontes@ucm.es	04.222.0 4ª Pl. Central
Miriam Cortés Contreras (**)	J de 11:00 a 14:00	mcortescontreras@ucm.es	04.229.0 4ª Pl. Central

(**) (3h no presenciales): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, CV, etc., en días laborables.

Competencias (ver tabla en página 7)

CB6, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG5, CG6, CG7, CG9, CG11, CT2, CT4, CT5, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE7

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

Esta asignatura tiene el objetivo de proporcionar al alumnado una visión de la situación actual en la investigación de las estrellas de tipo solar, las estrellas más frías que el Sol y los objetos subestelares (enanas marrones y objetos de masa planetaria). Se estudiarán en detalle los fenómenos que tienen lugar en las partes más externas de sus atmósferas. Se abordarán todos los temas relacionados con la actividad magnética estelar describiendo el tipo de observaciones y técnicas utilizadas para obtener información sobre este fenómeno. Se espera que el alumnado adquiera destreza en la interpretación de espectros ópticos de alta resolución derivando a partir de ellos diferentes parámetros estelares como velocidades radiales, tipos espectrales, emisiones cromosféricas, velocidades de rotación, campos magnéticos y abundancias.

Resumen

El Sol como prototipo de estrella fría. Las estrellas de tipo solar y últimos tipos espectrales (F, G, K, M). La estructura de las capas más externas de las estrellas frías: Zona convectiva, Fotosfera, Cromosfera, Región de transición, Corona y vientos. La actividad magnética. Mecanismo dinamo. Rotación y edad. Dependencia con los parámetros estelares y el estado evolutivo. Estrellas muy poco masivas y su clasificación espectral (tipos L, T, Y). Búsqueda y detección de enanas marrones y objetos de masa planetaria. Procesos de formación y propiedades de los objetos subestelares.

Conocimientos previos necesarios

Haber cursado el módulo de “Formación Básica” de Máster en Astrofísica. Se recomienda cursar también la asignatura de la misma materia “Sistema Solar y Exoplanetas”.

Programa de la asignatura

1. El Sol, prototipo de estrella fría.

1.1 La atmósfera del Sol.
1.2 Últimos avances en el estudio del Sol.

2. Las estrellas de tipo solar y últimos tipos espectrales.

2.1 Las estrellas frías (tipos F, G, K, M).
2.2 Evidencia de actividad magnética.
2.3 Las estrellas frías activas.

3. Observaciones y técnicas utilizadas.

3.1 Fotometría y espectroscopia óptica e infrarroja (mapas de temperatura fotosférica, emisión cromosférica y campo magnético).

- Inversión de curvas de luz.
- Velocidad radial y de rotación, campo magnético.
- Técnica de imagen Doppler y Zeeman-Doppler.
- Técnica de substracción espectral.

3.2 Fotometría y espectroscopia en UV y rayos X (región de transición y corona).

- Estudio de distribución de la medida de emisión y densidad.

- Abundancias coronales.

4. Estrellas muy poco masivas y objetos subestelares.

4.1 Las enanas ultrafrías (tipos L, T, Y).
4.2 Las enanas marrones y objetos de masa planetaria.
4.3 Búsqueda y detección de objetos subestelares.
4.4 Procesos de formación y propiedades.

5. Las capas más externas de las estrellas frías y ultrafrías.

5.1 Zona convectiva. Fotosfera. Cromosfera. Región de transición. Corona.
5.2 Actividad magnética (machas, regiones activas, protuberancias, bucles, fulguraciones, ciclos de actividad).

6. Estrellas muy activas.

6.1 Estrellas pre-secuencia principal (T Tauri: CTTS y WTTS).
6.2 Sistemas binarios activos (RS CVn y BY Dra).
6.3 Sistemas binarios tipo W UMa y estrellas tipo FK Com.
6.4 Estrellas con fulguraciones (UV Ceti).
6.5 Estrellas en cúmulos abiertos y grupos de movimiento jóvenes.

7. El origen de la actividad magnética y el calentamiento.

7.1 Interacción convección - rotación diferencial (mecanismo dinamo).
7.2 Los objetos completamente convectivos (mecanismos dinamo alternativos).
7.3 Mecanismos de calentamiento (ondas, campo magnético, conducción, microfulguraciones).

8. Dependencia de la actividad con los parámetros estelares y el estado evolutivo.

8.1 Relación actividad - rotación.
8.2 Relaciones flujo - flujo.
8.3 Relaciones flujo - temperatura.
8.4 Relaciones con el número de Rossby.
8.5 Relación actividad - edad.
8.6 Líneas divisorias en el diagrama HR.

9. Avances futuros.

9.1 Nuevos telescopios y espectrógrafos dedicados al seguimiento de estrellas frías.
9.2 Telescopios robóticos.
9.3 Espectrógrafos de alta resolución y gran estabilidad en el óptico e IR cercano.
9.4 Nuevas misiones espaciales y exploraciones dedicadas a la detección de objetos fríos y ultrafríos (X, UV, IR, astrometría).

Programa de prácticas:

1. Análisis de espectros ópticos de alta resolución de estrellas frías.
    1. Velocidad radial
    2. Velocidad de rotación
    3. Substracción espectral
    4. Anchura equivalente de líneas.
2. Clasificación espectral de estrellas ultra-frías.
    1. Ordenación de los espectros por tipo espectral (T_{ef})
    2. Identificación de líneas atómicas y bandas moleculares
    3. Identificación de Litio
    4. Detección de Hα en emisión
3. Análisis de dependencia de la actividad con parámetros estelares
    1. Relaciones rotación – actividad
    2. Relación rotación – edad

Bibliografía
Básica: - "***The Observation and Analysis of Stellar Photospheres***", Gray D.F., Cambridge University Press, 1992 - 2021. (Cambridge University Press). - "***Solar and Stellar Magnetic Activity***", Carolus J. Schrijver, & Cornelius Zwaan, Cambridge University Press, 2000. (Cambridge University Press). - "***New Light on Dark Stars: Red Dwarfs, Low-Mass Stars, Brown Dwarfs***", Reid I.N., & Hawley S.L., Springer Verlag, 2005 - "**An Introduction to Stellar Magnetic Activity**" Gibor Basri, 2021, AAS, IOP Publishing Especializada: - "***Stellar Chromospheric Activity***", Hall J.C., (2008). The Living Reviews in Solar Physics, lrsp-2008-2 - "***Observations of Cool-Star Magnetic Fields***", Reiners A., (2012). The Living Reviews in Solar Physics, lrsp-2012-1 - "***Review on low-mass stars and brown dwarfs***", G. Chabrier, I. Baraffe, F. Allard, P.H. Hauschildt, 2005, invited review, "Resolved Stellar Populations" (astro-ph/0509798) - "***New spectral types L and T***", Kirkpatrick J.D., (2005) ARA&A, 43, 195
Recursos en internet
- Campus virtual en el que se incluirá todo el material docente

Metodología
La asignatura combina clases magistrales de teoría y resolución de casos prácticos con la realización de prácticas en los laboratorios de la Facultad.

Evaluación		
Realización de exámenes	**Peso:**	60%
El examen tendrá una parte de tipo test sobre los temas del programa y una parte de cuestiones sobre los problemas y prácticas realizadas durante el curso.		
Otras actividades de evaluación	**Peso:**	40%
- Resolución de problemas y casos prácticos. - Realización de prácticas de laboratorio. - Informe de las prácticas realizadas.		
Calificación final		
La calificación final será $N_{Final}=0.6N_{Exámen}+0.4N_{OtrasActiv}$, donde N_{Examen} y $N_{OtrasActiv}$ son (en una escala 0-10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores. Será necesario sacar como mínimo un 5 (sobre 10) en cada una de las partes para que estas contribuyan a la calificación final.		

Ficha de la asignatura:	**Técnicas Experimentales en Astrofísica**	Código	606757

Materia:	Instrumentación y Técnicas Experimentales en Astrofísica	**Módulo:**	Formación Avanzada		
Carácter:	Optativo	**Curso:**	1º	**Semestre:**	2º

	Total	Teóricos / Problemas	Prácticas
Créditos ECTS:	6	3	3
Horas presenciales	86.5	17.5	69.0

Profesor/a Coordinador/a:	Nicolás Cardiel López		**Dpto:**	FTA
	Despacho:	00.322.0	**e-mail**	cardiel@ucm.es

Teoría / Problemas - Detalle de horarios y profesorado

Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
13	J	10:30-13:00	Nicolás Cardiel	A lo largo del semestre	17.5	FTA

Prácticas de laboratorio / Prácticas en Observatorio - Detalle de horarios y profesorado

Grupo	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.
A	Aula 13	8 sesiones, jueves, de 10:30 a 13:00	Nicolás Cardiel López	20	FTA
	Observatorio de Calar Alto	tres días completos: viaje + observaciones (fechas a determinar)	Nicolás Cardiel López	24.5	FTA
			Jesús Gallego Maestro	24.5	FTA

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado

Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Nicolás Cardiel López (*)	Martes de 11:30 a 13:30h y de 15:30 a 17:30h	cardiel@ucm.es	00.322.0, Pl. Baja Oeste
Jesús Gallego Maestro (*)	L y X: de 15:30 a 17:00h	j.gallego@ucm.es	00.314.0, Pl. Baja Oeste

(*) Resto hasta 6 horas a través del campus virtual, correo electrónico, etc.

Competencias (ver tabla en página 7)

CB6, CB7, CB8, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG6, CG7, CG8, CG9, CG10, CG11, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6, CE7

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

En esta asignatura se pretende que cada estudiante aprenda los métodos y técnicas de observación astronómica. Se proporcionarán conocimientos avanzados de las técnicas de observación, reducción y procesado de datos en Astrofísica. En especial lo relativo a observaciones en el óptico de fotometría de imagen y espectroscopía.

Gracias a la colaboración con observatorios astronómicos, el estudiantado preparará y analizará observaciones astronómicas aprendiendo a realizar todo el proceso de medida en astronomía desde el planteamiento hasta la obtención de datos reducidos. Siempre que sea posible, se realizará una estancia en el Observatorio Astronómico de Calar Alto (Almería). Durante las observaciones se utilizarán un telescopio e instrumentación profesionales, y se visitará también otras cúpulas donde se recibirán explicaciones sobre el funcionamiento del resto de instrumentación avanzada del observatorio. Las/los estudiantes interaccionarán con astrónomas/os profesionales y se familiarizarán con los aspectos cotidianos de la investigación, aprendiendo la base del trabajo científico en un observatorio astronómico. Adquirirán destrezas propias de la profesión, así como la relación y trabajo con otros profesionales. Cada grupo de estudiantes desarrollará un proyecto de investigación realizando todas sus fases: preparación, planificación, desarrollo de las observaciones, comprobación de la calidad de la observaciones en tiempo real, reducción de datos y análisis de los resultados.

Debido a la limitación en el número de personas que pueden alojarse y utilizar las instalaciones del Observatorio de Calar Alto, el número máximo de estudiantes que pueden matricularse en esta asignatura es 18.

Desde el curso 2025-2026 no se cuenta con financiación garantizada para cubrir por completo los gastos asociados al desplazamiento al Observatorio de Calar Alto. Esto significa que los gastos no cubiertos correrán a cargo de cada estudiante. En este sentido, el viaje no constituirá un requisito indispensable de la asignatura. En cualquier caso, se hará lo posible para garantizar al menos la posibilidad de realizar las observaciones de forma remota.

Resumen

Introducción a la Fotometría, sistemas fotométricos. Métodos de observación: fotometría diferencial y fotometría absoluta. Magnitudes instrumentales, corrección de los efectos de la atmósfera, transformación al sistema estándar, términos de color. Fotometría de objetos extensos: perfiles de luminosidad y parámetros fotométricos.

Método observacional en espectroscopía: espectros de rendija y multiobjeto. Elección del espectrógrafo. Configuración observacional. Estrategias en las observaciones espectroscópicas.

Técnicas y procesado en observaciones en el óptico. Obtención de las imágenes de calibración. Reducción de datos CCD. Software para el procesado. Reducción de imágenes y espectros.

Conocimientos previos necesarios

Nociones de Astrofísica general y Astronomía observacional. Instrumentación astronómica.

Programa de la asignatura

- Fotometría
  - Sistemas fotométricos.
  - Fotometría fotoeléctrica. Fotometría CCD.
  - Fotometría diferencial.
  - Fotometría absoluta. Transformación al sistema estándar.
  - Fotometría de objetos extensos.

- Espectroscopía
  - Espectroscopía de rendija y multiobjeto.
  - Elección del espectrógrafo. Configuración observacional.
  - Observaciones espectroscópicas.
- Técnicas de observación y procesado en el óptico.
  - Imágenes de calibración.
  - Reducción de datos CCD. Software de procesado.
  - Reducción de imágenes y espectros.

Programa de prácticas en el laboratorio:

Las prácticas se realizarán en grupos, empleando programación en Python con cuadernos de Jupyter. Es conveniente que cada estudiante pueda utilizar su propio ordenador portátil para realizar las prácticas en el aula.

1. Introducción al procesado de observaciones astronómicas. Formato FITS, software genérico de visualización y análisis de observaciones.
2. Reducción de observaciones de fotometría de imagen.
3. Reducción de espectroscopía de rendija.
4. Proyecto de observación en un telescopio profesional: diseño de un proyecto científico y preparación de las observaciones.
5. Observación astronómica en un observatorio profesional. Realización de las observaciones programadas. Se llevará a cabo en las instalaciones del Observatorio de Calar Alto (Almería). Incluye viaje de tres días (dos noches de observación).-Reducción de observaciones, análisis de datos y presentación de resultados.

Bibliografía

- "Astronomical Photometry", 1990, AE. Henden & R.H. Kaitchuck
- "Introduction to Astronomical Photometry", 2007, E. Budding & O. Demircan.
- "Manual práctico de Astronomía con CCD" 1998, D. Galadí & I. Ribas, Ed. Omega
- “Detection of Light: from the UV to the submillimeter”, 2003, G. H. Rieke, Cambridge Univ. Press.
- *"Electronic and Computer-Aided Astronomy"*. 1989, I.S. McLean Ellis Horwood Ltd., John Wiley & Sons.
- “Astronomy: Principles and Practice”. 2003, A.E. Roy, D. Clarke. Adam Hilger Ltd., Bristol.
- “Astrophysical Techniques”. C.R. Kitchin, 1984, Adam Hilger ltd. Bristol.
- “Observational Astronomy”, 2006, D. Scott Birney, G. Gonzalez, D. Oesper, Cambridge Univ. Press.
- “Astronomical Observations”, 1987, G. Walker. Cambridge Univ. Press.

Recursos en internet
Campus virtual: además del material docente presentado en las clases teóricas, en la página del curso se facilitarán los enlaces a las diferentes herramientas de software necesarias para el desarrollo de la asignatura.

Metodología
La asignatura combina clases magistrales sobre los conceptos básicos necesarios para la preparación, realización y análisis de las observaciones astronómicas con la realización de prácticas. Las técnicas de reducción, procesado y análisis de las observaciones se aprenden con trabajo práctico que se realiza con ayuda de ordenadores. Los conocimientos aprendidos durante el curso permiten que cada estudiante participe en la programación y ejecución de unas observaciones que se llevan a cabo en un observatorio profesional. Las prácticas se realizan de forma individual salvo las de preparación, realización y análisis de las observaciones astronómicas que será llevadas a cabo en grupo. Los grupos analizan las observaciones para obtener los resultados finales que serán presentados al resto de estudiantes en una exposición oral al final del curso.

Evaluación		
Realización de exámenes	**Peso:**	30%
El examen tendrá una parte de preguntas teórico-prácticas y otra parte de cuestiones relacionadas con los trabajos realizados durante el curso.		
Otras actividades de evaluación	**Peso:**	70%
Memorias escritas, asistencia, actitud, iniciativa y habilidades demostradas en sesiones de laboratorio y de prácticas realizadas.		
Calificación final		
La calificación final será $N_{Final}=0.3N_{Examen}+0.7N_{OtrasActiv}$, donde N_{Examen} y $N_{OtrasActiv}$ son (en una escala 0-10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores. Será necesario sacar como mínimo un 4 (sobre 10) en cada una de las partes para que estas contribuyan a la calificación final. Como el examen es el proceso que oficializa generar la calificación final que se consigna en las actas, si un/a estudiante decide no presentarse al examen en la convocatoria ordinaria, en el acta de dicha convocatoria figurará “No presentado/a”. Esto garantiza que quien decida presentarse solo en la convocatoria extraordinaria pueda seguir obteniendo la máxima calificación.		

Ficha de la asignatura:	**Astrofísica de Altas Energías**			Código	606758
Materia:	Instrumentación y Técnicas Experimentales en Astrofísica	**Módulo:**	Formación avanzada		
Carácter:	Optativo	**Curso:**	1º	**Semestre:**	2º

	Total	Teóricos / Problemas	Prácticas de laboratorio
Créditos ECTS:	6	5	1
Horas presenciales:	45	28	17

Profesor/a Coordinador/a:	Daniel Nieto Castaño		**Dpto:**	EMFTEL
	Despacho:	03.228.0	**e-mail**	d.nieto@ucm.es

Teoría / Problemas - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	**Día**	**Horario**	**Profesor**	**Periodo/ Fechas**	**Horas**	**Dpto.**
13	X V	12:00 – 13:30 11:00 – 12:30	José Miguel Mas Hesse	Se alternarán a lo largo de semestre	1	EMFTEL
			Marcos López Moya		12	EMFTEL
			Daniel Nieto Castaño		15	EMFTEL

Prácticas de laboratorio - Detalle de horarios y profesorado					
Grupo	**Lugar**	**Sesiones**	**Profesor**	**Horas**	**Dpto.**
A	Laboratorio de Física Atómica	2 sesiones de 3 h cada una fuera del horario de la asignatura (por determinar)	Daniel Nieto Castaño	3	EMFTEL
			Marcos López Moya	3	EMFTEL
A	Aula de informática	4 sesiones de 1.5 h en horario de clase	Marcos López Moya	6	EMFTEL
A	ESAC (Villafranca del Castillo)	1 sesión de 5 h (fecha por determinar)	José Miguel Mas Hesse	5	EMFTEL

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	**horarios**	**e-mail**	**Lugar**
Marcos López Moya	L, X: 14:00-17:00	marcolop@ucm.es	03.220.0, 3ª planta Módulo Central
Daniel Nieto Castaño (*)	M, J: 10:00-11:30 (resto online)	d.nieto@ucm.es	03.228.0, 3ª planta Pasillo Norte
José Miguel Mas Hesse	Concertar con el profesor	mm@cab.inta-csic.es	

(*) (3h no presenciales): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, CV, etc., en días laborables.

Competencias (ver tabla en página 7)

CB6, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG5, CG6, CG7, CG9, CG11, CT1, CT2, CT4, CT5, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6, CE7

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

La astrofísica de altas energías es una disciplina esencial en todas las líneas de investigación actuales. La Comunidad de Madrid tiene una comunidad investigadora en esta área especialmente potente tanto en investigación como en desarrollo de tecnología, con grupos en la UCM, CIEMAT, *European Space Astronomy Center* (ESAC) y en varias entidades más. En esta materia se ofrecerá al alumno una formación sólida sobre los procesos físicos que dan lugar a la emisión en altas energías (rayos X, rayos gamma) en el universo. Asimismo, se describirán las técnicas instrumentales desarrolladas para poder detectar este rango de radiación electromagnética.

El alumnado recibirá formación en el campo de la astrofísica de altas energías que le permitirá comenzar un proyecto de investigación doctoral en ese campo.

Resumen

Introducción a la astrofísica de altas energías. Métodos de detección de rayos X, de rayos gamma y de partículas cósmicas de alta energía. Fuentes y mecanismos de emisión y aceleración. Propagación. Perspectivas del campo.

Conocimientos previos necesarios

Los correspondientes a las asignaturas troncales hasta el tercer curso, así como a las asignaturas obligatorias de tercer y cuarto curso del grado en Física en la especialidad de Física Fundamental.

Programa de la asignatura

TEORÍA

- Astrofísica de rayos X y Gamma
  Mecanismos de producción de rayos X y Gamma. Fuentes astrofísicas de altas energías, galácticas y extragalácticas. Técnicas de detección. Telescopios de rayos X. Detectores de rayos gamma en tierra y en satélites.
- Física de rayos cósmicos
  Interacción de partículas cargadas con la materia. Detectores de rayos cósmicos en tierra y en satélites. Mecanismos de producción y propagación de rayos cósmicos.
- Otras partículas de alta energía
  Producción y detección de neutrinos de alta energía. Búsqueda de materia oscura con detectores de radiación de alta energía.

PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Medida del flujo de muones cósmicos con centelleadores plásticos empleando el método de coincidencias. Medida de la vida media del muón a partir de la detección de muones

cósmicos. Espectroscopía de rayos gamma con detectores de germanio, centelleadores y fotomultiplicadores.

PRÁCTICAS DE ANÁLISIS DE DATOS

Utilización de software científico para el análisis de los datos tomados por telescopios de altas energías.

VISITA A ESAC

Visita a las instalaciones de la *European Space Astronomy Centre* (ESAC), que la Agencia Espacial Europea (ESA) opera en Villafranca del Castillo, para conocer las actividades de investigación en los telescopios de rayos X y rayos gamma operados por la ESA.

Bibliografía

Básica

- A. De Angelis, Introduction to Particle and Astroparticle Physics, Springer 2018
- M.S. Longair. *High Energy Astrophysics Vol 1 y 2*. Cambridge Univ. Press 1994
- Katz, J.I., *High Energy Astrophysics*, Addison-Wesley, 1987

Complementaria

- F. Aharonian. *Very High Energy Cosmic Gamma Radiation.* World Scientific 2004
- C. Grupen, G. Cowan, et al: *Astroparticle Physics.* Springer 2005
- D. Perkins, *Particle Astrophysics,* Oxford University Press, 2009
- T. Stanev, *High energy cosmic rays*, Springer, 2010

Recursos en internet

– Campus virtual con enlaces de interés para la asignatura.

Metodología

Una parte fundamental de la asignatura vendrá en la forma de clases teóricas, con material de apoyo para el alumnado en el CV. Las clases se darán de manera habitual con el apoyo de medios audiovisuales. Los conocimientos teóricos se complementan con la resolución de problemas.

Las prácticas de laboratorio tendrán lugar en el Laboratorio de Física Atómica y Molecular, y las prácticas de análisis de datos se realizarán en el aula de Informática de la Facultad. En ambos tipos de prácticas, cada estudiante tendrá que entregar un informe con los resultados.

Por último, se realizará una visita a las instalaciones de la ESA en Villafranca del Castillo para conocer de cerca la actividad investigadora en astrofísica de rayos X y rayos gamma.

Evaluación

Realización de exámenes	**Peso:**	30%

El examen tendrá una parte de cuestiones teórico-prácticas y otra parte de problemas. Para ambas partes la/el estudiante podrá contar con libros de teoría de libre elección, así como el material a su disposición en el CV. Se exige una nota mínima de 3 puntos sobre 10 en el examen para aprobar la asignatura.

Otras actividades de evaluación	Peso:	70%
Otras actividades de evaluación: • Presentación, oral y por escrito, de trabajos monográficos. • Realización de prácticas de laboratorio y computación y entrega de memorias e informes.		
Calificación final		
La calificación final será: Nota = Examen*0.3 + Otras*0.7		

Ficha de la asignatura:	**Análisis de Datos y Técnicas Estadísticas**	Código	606759
Materia:	Instrumentación y Técnicas Experimentales en Astrofísica	Módulo:	Formación Avanzada
Carácter:	Optativo	Curso:	1º / Semestre: 2º

	Total	Teóricos / Problemas	Prácticas de laboratorio
Créditos ECTS:	6	5	1
Horas presenciales	45	27	18

Profesor/a Coordinador/a:	Sergio Pascual Ramírez		Dpto:	FTA
	Despacho:	00.315.0	e-mail	sergiopr@ucm.es

Teoría/Problemas - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo / Fechas	Horas	Dpto.
13	X	9:00-10:30	Sergio Pascual	Todo el semestre (salvo prácticas lab.)	22.5	FTA
	J	13:00-14:30	Nicolás Cardiel	Todo el semestre (salvo prácticas lab.)	4.5	FTA

Prácticas - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
13	X J	09:00-10:30 13:00-14:30	Nicolás Cardiel	Todo el cuatrimestre	18	FTA

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Sergio Pascual (*)	X y J: de 11:00 a 12:30	sergiopr@fis.ucm.es	00.310.0 Pl. Baja Oeste
Nicolás Cardiel (**)	M de 11:30 a 13:30 M de 15:30 a 17:30	cardiel@ucm.es	00.322.0 Pl. Baja Oeste

(*) (+3h no presenciales): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, CV, etc., en días laborables.
(**) (+2h no presenciales): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, CV, etc., en días laborables.

Competencias (ver tabla en página 7)
CB6, CB7, CB8, CB10, CG1, CG2, CG3, CG5, CG6, CG7, CG8, CG9, CG10, CG11, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CE2, CE4, CE5, CE6, CE7

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

El alumnado recibirá formación avanzada en la disciplina del análisis de datos astronómicos y las técnicas estadísticas asociadas. Dado el gran volumen de datos que actualmente puede llegar a manejarse en Astrofísica, resulta imprescindible realizar dicho aprendizaje a la vez que se utiliza una herramienta de software apropiada. En este sentido también es objetivo de esta asignatura familiarizar a cada estudiante con el paquete estadístico R, sin duda uno de los mejores en su género y especialmente preparado para el análisis estadístico de datos astronómicos. Se pretende, a través de los ejercicios prácticos, fomentar la capacidad de resolver problemas prácticos habituales en Astrofísica.

Resumen

La asignatura se centra en el análisis estadístico de datos desde la perspectiva de la Estadística Bayesiana. De esta forma, se introduce el paradigma bayesiano y los diferentes métodos para el análisis de datos desde esta moderna perspectiva. En particular: las bases de la inferencia bayesiana, cómo modelar diferentes distribuciones de probabilidad, el estudio analítico de los casos en que se pueden definir *priors* conjugados, la aproximación en *grid* y los modernos métodos computacionales para problemas de mayor complejidad. En este sentido, gran parte del curso se centra en la aplicación de la metodología de *Markov Chain Monte-Carlo*, y su modelización con el lenguaje de programación *Stan*. Durante todo el curso se harán prácticas con datos astrofísicos y se hará hincapié en los aspectos del análisis de datos más relacionados con la astrofísica moderna.

Conocimientos previos necesarios

Conocimientos básicos de Astrofísica. Conocimientos previos de estadística básica. Conocimientos básicos de programación (preferiblemente en R o Python).

Programa de la asignatura

1 - Introducción a la estadística bayesiana

2 – Componentes del teorema de *Bayes*

3 – Distribuciones de probabilidad

4 – Métodos bayesianos analíticos y aproximación en *grid*

5 – Comparación de modelos

6 – MCMC (*Markov Chain Monte Carlo*). Algoritmos de muestreo.

7 – *Stan*

8 – Determinación de parámetros en modelos simples

9 – Modelos de regresión lineal

10 – Modelos jerárquicos

11 – Modelos lineales generalizados

Bibliografía
- B. Lambert, A Student Guide to Bayesian Statistics, 2018, SAGE Publ. Ltd. - J. K. Kruschke, Doing Bayesian Data Analysis – A Tutorial with R, JAGS and Stan, 2nd edition, Elsevier. - R. McElreath, Statistical Rethinking, 2016, Texts in Statistical Science, CRC Press. - S. Andreon, y B. Weaver, Bayesian Methods for the Physical Sciences, Learning from Examples in Astronomy and Physics, 2015, Springer Series in Astrostatistics. - J.M. Hilbe, R.S. de Souza y E.O. Ishida, Bayesian Models for Astrophysical Data using R, JAGS, Python and Stan, 2017, Cambridge University Press. - A. Gelman et al., Bayesian Data Analysis, 3rd edition, 2014, Texts in Statistical Science, CRC Press.
Recursos en internet
Página de Stan: https://mc-stan.org Página de Astrostatistics: http://astrostatistics.psu.edu Página web con recursos del texto de Lambert: https://study.sagepub.com/lambert Página con recursos del texto de Kruschke: https://sites.google.com/site/doingbayesiandataanalysis/

Metodología
La asignatura tiene una parte de teoría y una parte práctica. En la parte de teoría se intercalarán ejemplos, con su código en R o Stan, para ilustrar la teoría. En la parte práctica se realizarán prácticas asociadas que consistirán en resolución de ejercicios utilizando R (o Python) y *Stan*. Se usarán datos reales de medidas en Astrofísica.

Evaluación		
Realización de exámenes	**Peso:**	30%
Examen práctico en el que habrá que resolver y programar un caso práctico similar a los resueltos en las clases.		
Otras actividades de evaluación	**Peso:**	70%
Problemas prácticos que se entregarán resueltos a través del campus virtual.		
Calificación final		
La calificación final será $N_{Final}=0.3N_{Examen}+0.7N_{OtrasActiv}$, donde N_{Examen} y $N_{OtrasActiv}$ son (en una escala 0-10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores. Será necesario sacar como mínimo un 4 (sobre 10) en cada una de las partes para que estas contribuyan a la calificación final. Como el examen es el proceso que oficializa generar la calificación final que se consigna en las actas, si un/a estudiante decide no presentarse al examen en la convocatoria ordinaria, en el acta de dicha convocatoria figurará “No presentado/a”. Esto garantiza que quien decida presentarse solo en la convocatoria extraordinaria pueda seguir obteniendo la máxima calificación.		

Ficha de la asignatura:	Dinámica de Galaxias			Código	606760
Materia:	Astrofísica Extragaláctica y Cosmología	Módulo:	Formación Avanzada		
Carácter:	Optativa	Curso:		Semestre:	2º

	Total	Teóricos	Problemas/Ejercicios	Laboratorio
Créditos ECTS:	6	4	1.8	0.2
Horas presenciales	45	30	12	3

Profesores/as Coordinadores/as:	Armando Gil de Paz		Dpto:	FTA
	Despacho:	00.323.0	e-mail	agil@fis.ucm.es

Teoría/Problemas/Ejercicios - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo / Fechas	Horas	Dpto.
13	M X	09:00 – 10:30 10:30 – 12:00	Armando Gil de Paz	Se alternarán lo largo del semestre	21	FTA
			M.ª Ángeles Gómez Flechoso		21	

Prácticas de laboratorio - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo / Fechas	Horas	Dpto.
Aula de informática	M X	09:00–10:30 10:30–12:00	Armando Gil de Paz	Práctica 1: 16 y 17 de marzo, en horario de clase	1.5	FTA
			M.ª Ángeles Gómez Flechoso	Práctica 2: 20 y 21 de abril, en horario de clase	1.5	

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	Horarios	e-mail	Lugar
Armando Gil de Paz (*)	M y J: 13:30 a 15:00	agil@fis.ucm.es	00.323.0, Pl. baja
M.ª Ángeles Gómez Flechoso (*)	M y J: 12:30 a 14:30	magflechoso@ucm.es	00.324.0, Pl. baja

(*) (+3h no presenciales): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, CV, etc., en días laborables.

Competencias (ver tabla en página 7)
CB6, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG5, CG6, CG7, CG9, CG11, CT2, CT4, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE7

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

El objetivo de esta materia es que el alumnado adquiera unos conocimientos avanzados en el área de la Astrofísica Extragaláctica y en el área de la Cosmología. Esta asignatura ofrece una última serie de conocimientos avanzados en Astrofísica Extragaláctica que le capacitarán para llevar a cabo una tesis doctoral en el área con énfasis en el estudio de la estructura dinámica de las galaxias y los sistemas estelares que las componen. Se verán en profundidad aspectos como el problema de los N cuerpos, formación jerárquica de galaxias, interacciones y fusiones de galaxias, materia oscura, estructura en espiral, simulaciones numéricas, órbitas y caos, equilibrio y estabilidad de sistemas estelares y otros conceptos avanzados que permiten conocer en profundidad los mecanismos que determinan las poblaciones de galaxias en las diferentes épocas del Universo.

Resumen

El objetivo principal de la asignatura es proporcionar al alumnado la formación indispensable para entender el comportamiento de un gran número de objetos (estrellas o galaxias) bajo la influencia de su propia gravedad. Dicho conocimiento es imprescindible para toda persona que desee trabajar en Astrofísica y que pretenda entender las claves de los procesos asociados a la formación y evolución de las galaxias. Estos conocimientos son cada vez de mayor importancia dada la mayor disponibilidad de espectrógrafos de alta resolución (alguno con capacidades de campo integral) en telescopios de la clase 8-10m. Asimismo, la disponibilidad de observaciones multi-frecuencia en mayor cantidad y calidad, tanto de nuestra propia galaxia como de otras galaxias, ha convertido el estudio de la dinámica no sólo de las estrellas sino también del gas en un campo de extraordinaria actividad en la investigación actual.

Por otro lado, el estudio de la dinámica de las galaxias constituye la mejor prueba observacional de la existencia de materia oscura, cuya presencia y contribución al censo de materia-energía en el Universo es uno de los ingredientes esenciales del Modelo Cosmológico Estándar.

La disponibilidad de ordenadores cada vez más potentes ha revolucionado el trabajo de investigación en este campo en los últimos años. En este sentido, las simulaciones de N-cuerpos constituyen el mejor laboratorio en el que contrastar los modelos teóricos con las observaciones.

Dado que la dinámica de las galaxias viene determinada básicamente por las leyes de la mecánica de Newton y su ley de gravitación universal, los contenidos de esta asignatura son accesibles a cualquier estudiante con un conocimiento típico de mecánica clásica y conocimientos básicos de astrofísica extragaláctica. A pesar de ello, esta asignatura acercará al estudiantado a las fronteras de las investigaciones actuales sobre la estructura y evolución de las galaxias.

Breve descripción de contenidos:

Resumen de propiedades observacionales. Cinemática de las estrellas de la vecindad solar y de la Vía Láctea como un todo. Cinemática de galaxias externas y cúmulos de galaxias. Sistemas soportados por rotación y por presión. Relaciones fundamentales.

Potencial gravitatorio. Campos gravitatorios suaves a gran escala. Potenciales en objetos con simetría esférica, axial, sistemas esferoidales, elipsoidales, discos.
Órbitas. Integrales de movimiento. Órbitas en potenciales esféricos, axi-simétricos y no axi-simétricos. Aproximación epicíclica. Barras. Simulaciones de N cuerpos.
Distribuciones de equilibrio para sistemas no colisionales. Función de distribución. Ecuación de Boltzmann. Funciones de distribución para sistemas estelares. Modelos de Schwarzschild. Desplazamiento asimétrico. Teorema del Virial.
Dinámica de discos galácticos. Propiedades fundamentales de la estructura espiral (Observaciones y teoría). Naturaleza de las estructuras espirales. Teoría de las ondas de densidad. Estabilidad de discos con rotación diferencial. Amortiguamiento y excitación de la estructura espiral. Barras. Migración estelar. Alabeos.

Conocimientos previos necesarios

Conocimientos básicos de Mecánica Clásica, Astrofísica general, observacional, estelar y extragaláctica.

Programa de la asignatura

1. Introducción:
    - Conceptos básicos
    - Misión Gaia
    - La vecindad del Sol, sistema de referencia local en reposo
    - Elipsoide de velocidad en la vecindad solar
    - Constantes de Oort
    - Estructura y cinemática de la Vía Láctea a gran escala
    - Cinemática de otras galaxias
        - El Grupo y volumen locales, *dynamical timing*
        - Funciones de luminosidad
        - Sistemas soportados por rotación o por presión, rotadores lentos y rápidos
        - Galaxias esferoidales
        - Curvas de rotación en espirales
        - Relación de Tully-Fisher, de Faber-Jackson, relación de Kormendy, plano fundamental

2. Potencial gravitatorio
    - Conceptos básicos de la teoría del potencial
    - Potenciales en objetos con simetría esférica
    - Potenciales asociados a diferentes distribuciones radiales de masa: Plummer, ley de potencias, doble ley de potencias
    - Potenciales axi-simétricos: Kuzmin, Miyamoto & Nagai, logarítmicos, multipolos, esferoidales, homoeoides
    - El potencial de la Vía Láctea

3. Órbitas
    - Conceptos básicos
    - Órbitas en potenciales esféricos
    - Constantes e integrales de movimiento
    - Órbitas en potenciales axi-simétricos
    - Órbitas cuasi-circulares, aproximación epicíclica
    - Órbitas planas en potenciales no axi-simétricos
    - Barras rotantes

4. Sistemas no colisionales
    - Concepto de función de distribución
    - La ecuación no colisional de Boltzmann
    - Observables: Distribución de velocidad y dispersión de velocidades (LOSVD), elipsoide de velocidad, momentos de mayor orden
    - Teoremas de Jeans
    - Modelos basados en simulaciones de N cuerpos
    - Modelos de Schwarzschild
    - Ecuaciones de Jeans y deriva asimétrica
    - Ecuaciones del Virial

5. Discos galácticos
    - Propiedades fundamentales de la estructura espiral derivadas de los resultados de observaciones
    - Naturaleza de las estructuras
    - Origen de las perturbaciones en discos estelares y de gas:
    - Estabilidad de discos galácticos, criterio de estabilidad de Toomre.
    - Perturbaciones primarias
    - Teoría de ondas de densidad
    - Amplificación de las perturbaciones
    - Barras
    - Teorías alternativas (variedades invariantes, espirales autoinducidas)
    - La estructura espiral de la Vía Láctea

Programa de la práctica 1 (2 días/sesiones):

1. Análisis de la cinemática del gas y las estrellas en el núcleos de galaxias (día 1).
2. Determinación del campo de velocidad radial del gas y las estrellas y del mapa de dispersión de velocidades de estrellas en galaxias externas (día 1).
3. Obtención y modelado de la curva de velocidad radial (día 2).

Se entregará una memoria del trabajo realizado.

Programa de la práctica 2 (2 días/sesiones):

1. Análisis de un potencial galáctico analítico
2. Simulaciones de partículas test y análisis orbital según las variables E y L.
3. Obtención y análisis de superficies de corte (diagramas de Poincaré).

Se entregará la práctica al final de la segunda sesión. No será necesario entregar ninguna memoria asociada.

Bibliografía

- *Galactic Dynamics*, J. Binney, S. Tremaine, 2ª edición, Princeton, 2008.
- *Dynamics of Galaxies,* G. Bertin, Cambridge University Press, 2014.

Recursos en internet

- Campus Virtual

- NED Level 5 en http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5
- ADS en https://ui.adsabs.harvard.edu/

Metodología
Se desarrollarán las siguientes actividades formativas: ▪ Lecciones de teoría donde se explicarán los principales conceptos de la asignatura ▪ Actividades de laboratorio para el desarrollo de las prácticas propuestas

Evaluación		
Realización de exámenes	**Peso:**	50%
El examen tendrá una parte de cuestiones teóricas y otra parte de cuestiones sobre los trabajos / prácticas realizadas.		
Otras actividades de evaluación	**Peso:**	50%
Se realizarán, entre otras, las siguientes actividades de evaluación continua: Trabajo individual o de grupo sobre las actividades de laboratorio desarrolladas		
Calificación final		
La calificación final se obtendrá a partir del siguiente cálculo $N_{Final}=0.5N_{Examen}+0.5N_{OtrasActiv}$, donde N_{Examen} y $N_{OtrasActiv}$ son (en una escala 0 a 10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores. Será necesario sacar como mínimo un 4 (sobre 10) en N_{Examen} para que esta parte contribuya a la calificación final.		

Ficha de la asignatura:	Física del Modelo Cosmológico Estándar	Código	606761

Materia:	Astrofísica Extragaláctica y Cosmología	Módulo:	Formación Avanzada		
Carácter:	Optativa	Curso:	1	Semestre:	2

	Total	Teóricos	Prácticas	Laboratorio
Créditos ECTS:	6	5.2	0.8	0
Horas presenciales	45	39	6	0

Profesor/a Coordinador/a:	Antonio López Maroto		Dpto:	FT
	Despacho:	14, 3ª pl., oeste	e-mail	maroto@ucm.es

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo / Fechas	Horas	Dpto.
12	X V	16:00-17:30 12:30-14:00	Antonio López Maroto	Todo el semestre	39	FT

Practicas - Detalle de horarios y profesorado					
Grupo	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.
A	Laboratorio de Física Computacional	Pendiente de determinar	Antonio López Maroto	6	FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Antonio López Maroto (*)	X, J: 10:30-12:00	maroto@ucm.es	Despacho 03.313.0

(*) (3h no presenciales): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, CV, etc., en días laborables.

Competencias (ver tabla en página 7)
CB6, CB10, CG1, CG2, CG3, CG5, CG6, CG7, CG9, CT4, CT5, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE7
Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)
En esta asignatura cada estudiante obtendrá una formación avanzada en Cosmología. El objetivo es conocer las teorías actuales sobre el origen y evolución del Universo, así como los datos observacionales en que se basan estas teorías. Se verán con detalle las bases observacionales de la Cosmología, la Física del modelo cosmológico estándar y el cálculo simbólico asociado, materia oscura, energía oscura, teoría de perturbaciones cosmológicas, formación de estructuras y fondo cósmico de microondas. Por último, el alumnado conocerá

los problemas fundamentales abiertos en Cosmología y las soluciones propuestas: teoría inflacionaria, modelos de materia oscura y de energía oscura.

Resumen

- Modelo cosmológico estándar
- Inflación
- Teoría de perturbaciones cosmológicas
- Formación de estructuras
- Fondo cósmico de microondas

Conocimientos previos necesarios

Conocimientos previos de Cosmología y Relatividad General son muy recomendables para cursar la asignatura con aprovechamiento.

Programa de la asignatura

Teoría:

1.- Modelo cosmológico estándar

1.1 Bases observacionales. Distribución de materia a gran escala. Ley de Hubble. Edad del universo. Abundancia de elementos ligeros. Radiación de fondo. Materia oscura. Expansión acelerada y energía oscura.

1.2 Bases teóricas. Métrica de Robertson-Walker. Medida de distancias. Ecuaciones de Einstein. Modelos dominados por materia, radiación y constante cosmológica. Horizontes. Termodinámica y desacoplo de partículas. Recombinación y desacoplo materia-radiación. Reliquias cosmológicas: materia oscura fría y caliente. Abundancia de neutrinos y WIMPs.

2.- Inflación cosmológica. Problemas del Modelo Cosmológico Estándar: planitud, horizontes y origen de la estructura a gran escala. Conceptos básicos de inflación. Modelos con un solo campo (inflatón): Lagrangiano, ecuaciones del movimiento, aproximación de slow-roll, condiciones iniciales, inflación caótica. Evolución de las escalas durante inflación.

3.- Teoría de perturbaciones cosmológicas

3.1.- Teoría Newtoniana para modos sub-Hubble: perturbaciones adiabáticas y de entropía. Ecuación de Meszaros. Perturbaciones en fluidos multicomponente. Perturbaciones bariónicas.

3.2.- Teoría relativista de las perturbaciones. Clasificación (escalar, vector, tensor). Invariancia gauge. Potenciales de Bardeen. Elección de gauge. Evolución de las perturbaciones escalares en universos dominados por materia y radiación.

4.- Evolución de las perturbaciones en el plasma de bariones y fotones: aproximación de acoplo fuerte. Ecuaciones de evolución. Oscilaciones acústicas (BAO). *Silk damping*. Función de transferencia y función de crecimiento de las perturbaciones de materia oscura.

5.- Evolución de las perturbaciones durante inflación. Perturbaciones del campo escalar. Ecuaciones de evolución.

6.- Generación de perturbaciones durante inflación. Cuantización canónica. Perturbaciones escalares. Variable de Mukhanov-Sasaki. Espectro de potencias. Índice espectral e invariancia de escala. Espectro de potencia de materia. Generación de ondas gravitacionales durante inflación**.** Cuantización. Espectro primordial. Condición de consistencia.

7.- **Anisotropías en el fondo cósmico de microondas.** Efectos Sachs-Wolfe, Doppler y Sachs-Wolfe integrado. Propiedades estadísticas de las perturbaciones gaussianas**.** Multipolos y escalas**.** Espectro de potencias angular: plateau de Sachs-Wolfe, picos acústicos, *damping tail*. Comparación con los resultados de Planck y estimación de parámetros cosmológicos.

Prácticas:

Se pretende que el alumnado adquiera un conocimiento más cercano a la investigación real en el campo a la vez que se muestra el enlace entre diversos datos experimentales y los modelos teóricos actuales sobre el origen y evolución del Universo

Fechas: por determina
Lugar: Aula por asignar

Bibliografía

- V.F. Mukhanov, Physical Foundations of Cosmology, Cambridge, (2005)
- D. Baumann, Cosmology, Cambridge (2023)
- E.W. Kolb and M.S. Turner, *The Early Universe*, Addison-Wesley, (1990)
- S. Dodelson, *Modern Cosmology*, Academic Press (2003)
- A.R. Liddle and D.H. Lyth, *Cosmological Inflation and Large-Scale Structure*, Cambridge (2000)
- A.R. Liddle*, An Introduction to Modern Cosmology*, Wiley (2003)
- T. Padmanabhan*, Theoretical Astrophysics, vols: I, II y III*, Cambridge (2000)
- S. Weinberg, *Cosmology*, Oxford (2008)
- R. Durrer, *The Cosmic Microwave Background*, Cambridge (2008)

Recursos en internet

– Campus virtual

Metodología
• Clases de teoría y problemas. • Se entregarán hojas con enunciados de problemas especialmente diseñadas para que cada estudiante vaya ejercitándose de manera gradual, y adquiriendo de forma secuencial las destrezas correspondientes a los contenidos y objetivos de la asignatura. Se contempla la realización de prácticas con ordenador.

Evaluación		
Realización de exámenes	**Peso:**	60%
El examen podrá consistir en la resolución de cuestiones teóricas y/o problemas (de nivel similar a los resueltos en clase) o en la presentación de un trabajo.		
Otras actividades de evaluación	**Peso:**	40%
Realización de prácticas y ejercicios		
Calificación final		
La calificación final será la más alta de las siguientes dos opciones: • $N_{Final} = 0.6N_{Ex}+0.4N_{Otras}$, donde N_{Ex} y N_{Otras} son (en una escala 0 a 10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores • Nota del examen final		

Ficha de la asignatura:	Trabajo Fin de Máster (TFM)			Código	606754
Materia:	Trabajo Fin de Máster	Módulo:	Trabajo Fin de Máster		
Carácter:	Obligatorio	Curso:	1º	Semestre:	1º y 2º

Créditos ECTS:	12	Horas	
		Elaboración	Seminarios y visitas
		24,5	50

Tutor/a	T/P/S/L(*)	Dpto.	e-mail
Doctor/a del ámbito de la Astrofísica. Esta persona es asignada por la Comisión del Máster.			

*: T: teoría, P: prácticas, S: seminarios, L: laboratorios

Competencias (ver tabla en página 7)
CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG6, CG7, CG8, CG9, CG11, CT1, CT2, CT4, CT5, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6, CE7

Objetivos de la asignatura

– Según el Real Decreto 1393/2007 las enseñanzas del Máster se completan con la elaboración y defensa pública del Trabajo Fin de Máster (TFM). El TFM es un elemento formativo esencial que, con una carga de 12 ECTS, exige al alumnado una gran dedicación y le permite acreditar la adquisición de los conocimientos y competencias asociados al título mediante el desarrollo de un trabajo de investigación dirigido por personal docente con grado de Doctor. Asimismo, el TFM podrá ser dirigido por profesores/as externos a la UCM y profesionales de organismos públicos de investigación o empresas del área de la Astrofísica.

– Cada estudiante y su(s) supervisor/a(s) firmarán un compromiso de tutorización que ambas partes deberán cumplir durante la duración del TFM.

– Al finalizar el TFM cada estudiante debería haber adquirido capacidad para iniciar y desarrollar proyectos de investigación, integrando herramientas teóricas y experimentales, trabajando de manera autónoma y gestionando de manera eficaz los recursos disponibles. Igualmente importante es que el/la estudiante sea capaz de hacer un ejercicio de síntesis de toda la actividad desarrollada, evaluando críticamente su propio trabajo.

– Se fomentará la participación de personal investigador de centros de investigación o empresas en la dirección de los TFM. De este modo, la oferta de trabajos de investigación que hagan los departamentos universitarios implicados en el Máster se verá enriquecida por la participación de otros centros. En el caso de participar personal externo, deberá acreditar una experiencia probada en la temática del TFM en concreto.

– La Comisión Coordinadora del Máster en Astrofísica asignará un/a tutor/a de la UCM de TFM a cada estudiante cuyo supervisión de TFM sea realizada por personal externo. La oferta de TFMs y la asignación definitiva se publicarán en la web del Máster. La Junta de Facultad nombrará un Tribunal de TFM de entre quienes constituyan la Comisión

Coordinadora del Máster. El tribunal estará compuesto de tres personas, de las que una será externa.

Breve descripción de contenidos

Esta materia pretende el desarrollo por parte de cada estudiante de un trabajo original en el ámbito de una de las asignaturas del programa del Máster en Astrofísica. Los TFM podrán tener un perfil:

– Investigador, realizándose en el ámbito de la Universidad o centros de investigación con los que se tiene estrecho contacto
– Profesional, realizándose en colaboración con empresas o instituciones con algunas de las cuales se tienen firmados convenio específicos para este tema (ver punto 2.1 de 'Justificación del Título'). El/la estudiante llevará a cabo una defensa pública de su TFM en las fechas que se establezcan para cada una de las dos convocatorias existentes en cada curso académico.

Programa de la asignatura

Los temas de investigación sobre los que versarán estos trabajos se corresponden con las líneas de investigación del personal docente del Máster y la comunidad de investigadores/as de todas las instituciones colaboradoras. El alumnado puede sugerir temas de trabajo que no figuren entre los ofertados.

Después de analizar la oferta de TFM, que se hará pública en la página web del máster máster http://www.ucm.es/masterastrofisica/trabajo-fin-de-master, cada estudiante comunicará por correo electrónico al coordinador del máster una lista priorizada con los trabajos que le resultan de interés. Si, para realizar esta elección, el/la estudiante necesita más información concreta sobre algún TFM en particular, puede ponerse en contacto con las personas que supervisarán el TFM en cuestión a través del coordinador.

La Comisión Coordinadora del Máster en Astrofísica realizará la asignación del TFM siguiendo el protocolo que aparece detallado en la página web https://www.ucm.es/masterastrofisica/trabajo-fin-de-master

La asignación de un trabajo se hará oficial cuando el nombre de la/el estudiante aparezca asignado a ese trabajo en la lista de TFMs ofertados para el curso.

La Comisión Coordinadora del Máster también asignará una persona de la UCM que tutorizará aquellos TFM cuya supervisión sea externa.

Cada estudiante del máster debe tener asignado un TFM antes de las Navidades e idealmente a lo largo del mes de octubre.

Algunas líneas de Investigación

- Formación de estrellas, Discos protoplanetarios
- Objetos subestelares y planetas
- Flujos bipolares y discos de acreción alrededor de estrellas jóvenes
- Evolución de discos circunestelares precursores de sistemas planetarios
- Estrellas frías: actividad estelar
- Química del medio interestelar y circunestelar

- Transporte de radiación. Atmósferas estelares y planetarias
- Sistemas binarios
- Propiedades físicas de galaxias
- Galaxias elípticas, Contenido estelar de galaxias
- Galaxias con formación estelar intensa
- Formación y evolución de galaxias y de cúmulos de galaxias
- Actividad en núcleos galácticos
- Galaxias con alto desplazamiento al rojo
- Química del medio interestelar en galaxias externas.
- Astrofísica de altas energías
- Estructura del universo a gran escala
- Evolución química del universo
- Desarrollo de software científico de interés general
- Desarrollo de software para la calibración de instrumentos y observaciones astronómicas (Herschel, ALMA, GTC, JWST)
- Desarrollo de software para el control en tiempo real de grandes telescopios

Metodología
Supervisión por parte del profesor/a de las actividades asociadas a la realización del Trabajo Fin de Máster (TFM). El TFM ha de realizarse de manera individual y con un grado importante de autonomía de la persona que realiza esta asignatura. Se proporcionará a cada estudiante un tema de trabajo que estará bien definido, con un método para llegar a resultados científicos y con una cierta garantía de éxito científico. El profesorado proporcionará la bibliografía y las orientaciones necesarias para la realización con éxito del trabajo.

Evaluación		
Memoria escrita, informe del/la tutor/a en la empresa, y presentación y defensa oral	**Peso:**	100%
Evaluación del Trabajo Fin de Máster. Para ello la Junta de Facultad nombrará un tribunal al efecto. El tribunal valorará la relevancia científica, el análisis de los datos, estructura y presentación de la memoria escrita y de la defensa pública que lleve a cabo cada estudiante. El personal que supervise el TFM proporcionará al tribunal un informe privado en el que valore el trabajo realizado por cada estudiante.		
Calificación final		
La calificación final será la asignada por el tribunal.		

Ficha de la asignatura:	Prácticas en Empresa (PE)	Código	606763

Materia:	Prácticas en Empresa	Módulo:	Prácticas en Empresa		
Carácter:	Optativa	Curso:	1º	Semestre:	2º

Créditos ECTS:	6	Horas	
		Actividades en empresa	Tutorías y entrevista
		12	4

Tutor/a	T/P/S/L*	Dpto.	e-mail
- Doctor/a del ámbito de la Astrofísica. Esta persona es asignada por la Comisión del Máster. - Tutor/a en la Empresa			

*: T: teoría, P: prácticas, S: seminarios, L: laboratorios

Competencias (ver tabla en página 7)
CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG6, CG7, CG8, CG9, CG10, CG11, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CE3, CE6, CE7

Objetivos y desarrollo de las PE

La realización de Prácticas en Empresa permitirá evaluar el carácter práctico de los conocimientos que se van adquiriendo en el Máster, particularizados para la actividad profesional desarrollada en la empresa en que se realicen dichas prácticas. Además permitirá a cada estudiante profundizar, analizar y desarrollar temas específicos a partir de las materias impartidas en el Máster. Finalmente la/el estudiante desarrollará la capacidad para aplicar las habilidades y competencias adquiridas durante los estudios del Máster a situaciones concretas y nuevas, siendo capaz de redactar una Memoria y hacer una defensa oral de ésta. En el mundo de la empresa el estudiantado además se formará en la responsabilidad que supone tener un desarrollo a tiempo y de manera coordinada con otros elementos del proyecto.

Breve descripción de contenidos

Las Prácticas en Empresa se podrán realizar sobre temas de interés para cada estudiante dentro del ámbito profesional de la Astrofísica. Estas prácticas ofrecen la oportunidad de realizar una aplicación concreta de los conocimientos teórico/prácticos a aquellas situaciones de interés para las empresas u organismos que desarrollan actividad profesional en el ámbito de la Astrofísica, y en algunos casos puede suponer la iniciación del alumnado a la vida laboral. En la medida de lo posible, se intentará que cada estudiante se involucre en un proyecto activo en la empresa, de manera que su trabajo sea una contribución a cualquier gran proyecto en desarrollo que dé lugar a resultados concretos.

Programa de la asignatura
Los temas de sobre los que versarán estos trabajos se corresponden con las líneas de desarrollo del personal docente del Máster y de las instituciones y empresas colaboradoras.

Metodología
Supervisión por parte del/la profesor/a de las tareas realizadas como Prácticas en Empresa, integrando los conocimientos adquiridos en las diferentes materias con el aspecto práctico desarrollado en la empresa u organismo público que acoja a cada estudiante. El objetivo final es que el alumnado se familiarice con el entorno profesional. Se nombrará una persona específica de la Comisión Coordinadora para que vele por el buen desarrollo de esta actividad. Cada estudiante en prácticas debe tener una persona que realice la tarea de tutorización en la empresa.

Procedimiento de matriculación
Para la asignatura Prácticas en Empresa, la matrícula nunca se realizará de forma automática sino presencial. Para ello, será necesario haber realizado primero un anexo del estudiante en el que se recogen las condiciones académicas y profesionales de la misma. Este anexo debe ser firmado por un/a tutor/a en la empresa, un/a tutor/a académico/a de la UCM y el/la propio/a estudiante. Para la gestión del mismo será necesario ponerse en contacto con la coordinación de la titulación quien os informará sobre las ofertas y adjudicación de las prácticas. El protocolo de asignación deberá pasar por la plataforma GIPE de gestión, por lo que es altamente recomendable darse de alta al inicio de curso. Una vez acordada la práctica y firmado el anexo, cada estudiante deberá entregarlo al coordinador/a, quien se encarga de solicitar la matrícula. Existen dos modos de matricular la asignatura: 1) Nueva matrícula a través de la autorización de la Vicedecana de Movilidad, Prácticas y Empleabilidad responsable de prácticas. 2) Aquella/os alumna/os que deseen solicitar algún tipo de beca o ayuda en la que se les requiera la matrícula de un curso completo, deberán matricular al inicio de curso una asignatura optativa adicional de segundo semestre. Una vez conformado el anexo del estudiante se procederá a modificar la matrícula de la asignatura optativa e intercambiarla por la de Prácticas en Empresa entregando a la Vicedecana de Movilidad, Prácticas y Empleabilidad el anexo con el visto bueno de el/la Coordinador/a del Título. La decisión sobre el cambio de matrícula es en último término potestad de la Facultad de Ciencias Físicas.

Evaluación		
Memoria escrita, informe del/de la tutor/a en la empresa y entrevista con el tribunal	**Peso:**	100%
Evaluación de las prácticas en empresa. Se evaluarán a partir del auto-informe redactado al efecto, el informe que haya hecho su tutor/a en la empresa y la entrevista que haga el tribunal a cada estudiante. El tribunal puede coincidir con el de los TFM.		
Calificación final		
La calificación final será la asignada por el tribunal.		

5. Cuadros Horarios

Máster en Astrofísica	HORARIO del primer semestre			Curso 2026-2027	
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
10:00-10:30		Atmósferas Estelares	Medio Interestelar	Atmósferas Estelares	
10:30-11:00					
11:00-11:30					
11:30-12:00		Formación y Evolución de Galaxias	Instrumentación Astronómica	Medio Interestelar	
12:00-12:30					
12:30-13:00					
13:00-13:30		Instrumentación Astronómica	Formación y Evolución de Galaxias		
13:30-14:00					
14:00-14:30					

Máster en Astrofísica	HORARIO del segundo semestre			Curso 2026-2027	
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
9:00-9:30		Dinámica de Galaxias	Análisis de Datos y Técnicas Estadísticas	Estrellas Frías y Objetos Subestelares	
9:30-10:00					
10:00-10:30					
10:30-11:00		Sistema Solar y Exoplanetas	Dinámica de Galaxias	Técnicas Experimentales en Astrofísica	
11:00-11:30					Astrofísica de Altas Energías
11:30-12:00					
12:00-12:30		Estrellas Frías y Objetos Subestelares	Astrofísica de Altas Energías		
12:30-13:00					Física del Modelo Cosmológico Estándar
13:00-13:30				Análisis de Datos y Técnicas Estadísticas	
13:30-14:00					
14:00-14:30					
14:30-15:00					
15:00-15:30					
15:30-16:00					
16:00-16:30			Física del Modelo Cosmológico Estándar	Sistema Solar y Exoplanetas	
16:30-17:00					
17:00-17:30					

6. Calendario Académico y Exámenes

Calendario Académico: https://fisicas.ucm.es/file/calendario-academico-2026-27-jdf

Exámenes: https://fisicas.ucm.es/examenes

Periodos de clases y exámenes	
Clases Primer Semestre:	Del 2 de septiembre al 15 de diciembre de 2026
Exámenes Primer Semestre (diciembre-enero):	Del 16 al 18 de diciembre de 2026 y del 11 al 20 de enero de 2027
Entrega de Actas	8 de febrero de 2027
Clases Segundo Semestre:	Del 21 de enero al 18 de marzo de 2027 y del 30 de marzo al 7 de mayo de 2027
Exámenes Segundo Semestre (mayo):	del 10 al 28 de mayo de 2027
Entrega de Actas	9 de junio de 2027
Exámenes Convocatoria Extraordinaria (junio)	del 14 al 25 de junio de 2027
Entrega de Actas	9 de julio de 2027

Nótese que cada ficha indica el número de horas de que consta la asignatura, por lo que en algunas el final de las clases podría ser anterior al final del periodo lectivo.

Festividades y días no lectivos	
12 de octubre	Fiesta Nacional
1 de noviembre	Festividad de Todos los Santos (trasladado al 2 de noviembre)
9 de noviembre	Madrid, festividad de La Almudena
15 de noviembre	San Alberto Magno (trasladado al 13 de noviembre)
6 de diciembre	Día de la Constitución Española (trasladado al 7 de diciembre)
8 de diciembre	Inmaculada Concepción
28 de enero	Santo Tomás de Aquino (trasladado al 29 de enero)
1 de mayo	Día del Trabajo
2 de mayo	Festividad Comunidad de Madrid
15 de mayo	Madrid, festividad de San Isidro
Del 21 de diciembre al 7 de enero	Vacaciones de Navidad
Del 19 al 29 de marzo	Vacaciones de Semana Santa

Las festividades de la Comunidad de Madrid para el año 2027 podrían modificarse.

7. Enlaces de interés

A continuación, se muestran algunos enlaces que pueden ser de utilidad para el alumnado de la titulación. La mayoría de ellos se pueden consultar en la página web de la secretaría de Físicas https://fisicas.ucm.es/secretaria-de-estudiantes.

También puede consultarse la normativa general UCM en los siguientes enlaces:
http://www.ucm.es/normativauniversidadcomplutense
https://www.ucm.es/estudiar
http://www.ucm.es/master

Páginas del Máster en Astrofísica:

Página del propio Máster: https://www.ucm.es/masterastrofisica/

Página UCM sobre el Máster: https://www.ucm.es/estudios/master-astrofisica

El Máster en redes sociales:

red X: https://x.com/MasterAstroUCM

red bluesky: https://bsky.app/profile/masterastroucm.bsky.social

Normas de matrícula y de permanencia:

Normativa general de la UCM:

Instrucciones de matrícula para estudios ofertados en la UCM:
https://www.ucm.es/matricula-estudios-oficiales

Anulación de matrícula https://www.ucm.es/anulacion-de-matricula-1

Normativa específica de la Facultad de Ciencias Físicas:

- *Matrícula de Máster https://fisicas.ucm.es//matricula-master*

- *Modificación de matrícula https://fisicas.ucm.es/modificacion-de-matricula-master*

Reconocimiento créditos de Máster:

https://www.ucm.es/solicitud-reconocimiento-creditos-master

Dicho reconocimiento puede obtenerse por:

Asignaturas cursadas y superadas en otros estudios universitarios oficiales

Estudios universitarios no oficiales

Experiencia profesional y laboral

Otros enlaces:

Unidad de Igualdad UCM: https://www.ucm.es/unidaddeigualdad/

Defensoría Universitaria: https://www.ucm.es/defensoria-universitaria

8. Control de cambios

Versión	Fecha modificación	Cambio efectuado	Secciones afectadas	Páginas afectadas
0.0	21/05/2026	Versión preliminar con los cambios en las fichas y actualización de fechas. Pendiente de aprobación en Junta de Facultad.	Todas	Múltiples
0.1	27/05/2026	Ficha Astropartículas de Altas Energías	Laboratorio Evaluación	39 42
0.2	29/05/2026	Ficha Astropartículas de Altas Energías	Laboratorio	39
0.3	02/06/2026	Calendario académico del nuevo curso	Enlace	61
0.4	16/06/2026	Fichas de Instrumentación Astronómica y Dinámica de Galaxias	Docente prácticas IA y tutorías de DG	23, 46
0.5	22/06/2026	Enlace a la normativa de la UCM	Enlaces de interés	62
1.0	01/07/2026	Cambio en la Comisión Coordinadora Aprobada por Junta de Facultad	Comisión Coordinadora del Máster	3
1.1	21/07/2026	Horario de Dinámica de Galaxias	Ficha de la asignatura	46