Guía docente de la asignatura

Origen y Evolución de los Elementos Químicos en el Universo (M44/56/3/38)

Fecha de aprobación por la Comisión Académica: 02/07/2025

Máster	Máster Universitario en Física: Radiaciones, Nanotecnología, Partículas y Astrofísica
MÓDULO	Física de Partículas y Astrofísica
RAMA	Ciencias
CENTRO RESPONSABLE DEL TÍTULO	Escuela Internacional de Posgrado

Semestre	Segundo	**Créditos**	6	**Tipo**	Optativa	**Tipo de enseñanza**	Presencial

PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES

Como requisitos previos se requieren conocimientos básicos de astrofísica, electromagnetismo, física atómica y nuclear, física estadística, física de fluidos y relatividad.

BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (Según memoria de verificación del Máster)

La Astrofísica y la Cosmología actuales se fundamentan en el desarrollo de instrumentos astronómicos de vanguardia - que proporcionan observaciones con una gran precisión - modelos físicos y simulaciones numéricas con las que contrastar predicciones teóricas y observaciones. En esta asignatura se estudiará el rol jugado por las estrellas en la evolución química de las galaxias, con especial énfasis en los diversos procesos de nucleosíntesis fundamentalmente asociados a la evolución estelar. Esto incluye fenómenos explosivos, como novas, supernovas, estallidos de rayos X y fusión de estrellas de neutrones. Con estas herramientas, las observaciones más recientes en estrellas y medio interestelar y modelos numéricos, se analizará la evolución química en los diversos tipos de galaxias, desde el Big-Bang hasta la actualidad, lo que nos permitirá finalmente, obtener una visión la evolución química del Universo como un todo.

COMPETENCIAS

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/
Código seguro de verificación (CSV): 190080E76281BF8A7FAE4C074E782B2B
06/05/2026 - 11:02
Pág. 1 de 7

COMPETENCIAS BÁSICAS

- CB6 - Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.
- CB7 - Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.
- CB8 - Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.
- CB9 - Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.
- CB10 - Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

COMPETENCIAS GENERALES

- CG03 - Capacidad de trabajo en equipo. El estudiante deberá integrar su trabajo en el interés de un proyecto común.
- CG04 - Capacidad de expresar y defender en público los resultados y conclusiones obtenidos como resultado del proceso de aprendizaje. Deberá desarrollar y dominar las técnicas de comunicación oral ante cualquier auditorio. Aprender a utilizar sus potencialidades personales para presentar resultados públicamente. Adquisición del convencimiento de que su conocimiento del trabajo realizado le convierte de inmediato en foco de interés y atención.
- CG05 - Capacidad de generación de propuestas innovadoras y competitivas en la investigación y en la actividad profesional.

COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

- CE01 - Capacidad de interpretar datos procedentes de la observación experimental o la simulación numérica.
- CE02 - Capacidad de considerar rigurosamente las limitaciones e incertidumbres en los resultados y de los métodos que pueden aplicarse para minimizarlas.
- CE03 - Capacidad de profundizar en los distintos campos de la Física y de identificar los aspectos que se encuentran en los límites del conocimiento.
- CE04 - Capacidad de formular hipótesis, idear experimentos, manejar métodos de cálculo y simulación numérica y desarrollar modelos.

COMPETENCIAS TRANSVERSALES

- CT01 - Capacidad de razonamiento crítico: el estudiante debe ser capaz de distinguir aquellos aspectos de su trabajo o del de otros que suponen innovación y avance.
- CT02 - Compromiso ético. Tanto en su etapa de alumno como posteriormente en su trabajo profesional, el estudiante debe ser consciente de la absoluta necesidad de realizar sus tareas con absoluto respeto a la honradez, la verdad y el servicio a la sociedad.
- CT03 - Capacidad de automotivación. Forma parte de la madurez que debe alcanzarse en el proceso formativo a estos niveles: las dificultades han de enfrentarse con decisión y

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/ 06/05/2026 - 11:02
Código seguro de verificación (CSV): 190080E76281BF8A7FAE4C074E782B2B Pág. 2 de 7

confianza.
- CT04 - Capacidad de reconocimiento de la diversidad y multiculturalidad. Forma parte de la actitud vital que se supone al graduado: su conciencia social ha de guiar aquellos aspectos de su profesión que involucren a otros miembros de la comunidad.

COMPETENCIAS

COMPETENCIAS BÁSICAS

- CB6 - Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.
- CB7 - Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.
- CB8 - Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.
- CB9 - Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.
- CB10 - Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

COMPETENCIAS GENERALES

- CG03 - Capacidad de trabajo en equipo. El estudiante deberá integrar su trabajo en el interés de un proyecto común.
- CG04 - Capacidad de expresar y defender en público los resultados y conclusiones obtenidos como resultado del proceso de aprendizaje. Deberá desarrollar y dominar las técnicas de comunicación oral ante cualquier auditorio. Aprender a utilizar sus potencialidades personales para presentar resultados públicamente. Adquisición del convencimiento de que su conocimiento del trabajo realizado le convierte de inmediato en foco de interés y atención.
- CG05 - Capacidad de generación de propuestas innovadoras y competitivas en la investigación y en la actividad profesional.

COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

- CE01 - Capacidad de interpretar datos procedentes de la observación experimental o la simulación numérica.
- CE02 - Capacidad de considerar rigurosamente las limitaciones e incertidumbres en los resultados y de los métodos que pueden aplicarse para minimizarlas.
- CE03 - Capacidad de profundizar en los distintos campos de la Física y de identificar los aspectos que se encuentran en los límites del conocimiento.
- CE04 - Capacidad de formular hipótesis, idear experimentos, manejar métodos de cálculo y simulación numérica y desarrollar modelos.

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/
Código seguro de verificación (CSV): 190080E76281BF8A7FAE4C074E782B2B
06/05/2026 - 11:02
Pág. 3 de 7

COMPETENCIAS TRANSVERSALES

- CT01 - Capacidad de razonamiento crítico: el estudiante debe ser capaz de distinguir aquellos aspectos de su trabajo o del de otros que suponen innovación y avance.
- CT02 - Compromiso ético. Tanto en su etapa de alumno como posteriormente en su trabajo profesional, el estudiante debe ser consciente de la absoluta necesidad de realizar sus tareas con absoluto respeto a la honradez, la verdad y el servicio a la sociedad.
- CT03 - Capacidad de automotivación. Forma parte de la madurez que debe alcanzarse en el proceso formativo a estos niveles: las dificultades han de enfrentarse con decisión y confianza.
- CT04 - Capacidad de reconocimiento de la diversidad y multiculturalidad. Forma parte de la actitud vital que se supone al graduado: su conciencia social ha de guiar aquellos aspectos de su profesión que involucren a otros miembros de la comunidad.

RESULTADOS DE APRENDIZAJE (Objetivos)

El alumno sabrá/comprenderá el origen y evolución de los elementos químicos, su generación a través de las reacciones nucleares en diferentes escenarios astrofísicos incluyendo:

- El Big-Bang.
- Nucleosíntesis estelar hidrostática y explosiva (estrellas AGBs, supernovas, novas, estallidos de rayos-x, fusión de estrellas de neutrones)
- Reacciones de spallation en el medio interestelar.
- Parámetros que dominan la evolución química de las galaxias.
- Simulaciones numéricas de la evolución química de galaxias.
- Limitaciones de los modelos.

El alumno será capaz de identificar en qué condiciones y objetos astrofísicos puede originarse un determinado elemento y la relevancia que ello puede tener en la evolución química de las galaxias. Interpretar las observaciones y los resultados de las simulaciones numéricas. Determinar las abundancias de elementos en diferentes contextos astrofísicos. Identificar las limitaciones de los modelos teóricos. Aplicar lo aprendido a otros contextos, ampliando y profundizando en los temas propuestos.

PROGRAMA DE CONTENIDOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

TEÓRICO

- **Tema 1. Abundancias químicas en el Universo.** Abundancias observadas en el Sistema Solar: meteoritos y el Sol. Definiciones: metalicidad, poblaciones estelares. Escenarios de nucleosíntesis: el Big-Bang, estrellas y medio interestelar. Elementos primarios y secundarios. Determinación de abundancias en estrellas. Análisis espectral. Abundancias químicas en estrellas del disco delgado, disco grueso y halo de nuestra Galaxia. Implicaciones.
- **Tema 2. Formación estelar en galaxias.** Estrellas, gas y polvo. Regiones HII y abundancias de elementos. Formación estelar masiva: estrellas, gas y polvo en la Vía Láctea y en otras galaxias. Regiones HII: propiedades físicas y químicas. Mecanismos de excitación y espectro de emisión. Extinción y emisión térmica del polvo. Determinación de abundancias de elementos en el medio interestelar. Método directo. Métodos empíricos. Gradientes de abundancias químicas en galaxias. Problemas pendientes,

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/ 06/05/2026 - 11:02
Código seguro de verificación (CSV): 190080E76281BF8A7FAE4C074E782B2B Pág. 4 de 7

ventajas e inconvenientes.

- **Tema 3. Estrellas de masa baja e intermedia**. Introducción. La fase AGB y los pulsos térmicos. El proceso-s y las fuentes de neutrones. La pérdida de masa. Relación masa final - masa inicial. Modelos de estrellas AGB. Nucleosíntesis, yields y observaciones de estrellas AGB con distinta metalicidad. Procesos de mezcla no estándar y rotación.
- **Tema 4. Estrellas masivas y supernovas de colapso gravitatorio.** Introducción. Neutrinos y fases avanzadas de combustión hidrostática. Colapso gravitatorio y mecanismos de explosión. Combustión explosiva. Supernovas de colapso gravitatorio. Mass-cut, nucleosíntesis y yields en estrellas masivas con distinta metalicidad. Influencia de la pérdida de masa y de la rotación.
- **Tema 5. Sistemas binarios próximos.** Introducción. Novas: nucleosíntesis y yields. Supernovas termonucleares: progenitores, mecanismos de explosión y nucleosíntesis. Estallidos de rayos X y nucleosíntesis asociada. Fusión de estrellas de neutrones y el proceso-r.
- **Tema 6. Modelos de evolución química de galaxias:** Ingredientes básicos. Ecuaciones fundamentales. Parámetros: tiempo de vida y yields estelares, la función inicial de masa, ritmo de formación estelar, flujos de gas. Modelos simples de evolución química: aproximación del reciclaje instantáneo. El problema de las enanas G. Ritmos de supernovas gravitacionales y termonucleares. Modelos multidimensionales, Evolución química de la Vía Láctea y otras espirales. Síntesis de poblaciones. Evolución química de galaxias tempranas. Evolución química de galaxias irregulares. Evolución química del Universo.

PRÁCTICO

Resolución de problemas y cuestiones teóricas sobre la asignatura

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL

- Hansen, C.J., Kawalet S.D., Trimble V. (2005) Stellar Interiors: Physical Principles, Structure and Evolution. Springer Verlag, 2nd edition
- Pagel, B. E. J. Nucleosynthesis and Chemical Evolution of the Galaxies, Cambridge Eds. 1997
- Sparke, L. S., Gallagher III, J.S.: Galaxies in the Universe: An introduction. Cambridge Eds. 2000
- Recchi, S. Chemodynamical Simulations of Dwarf Galaxy Evolution. Advances in Astronomy especial issue "Metals in 3D: A cosmic view form integral field spectroscopy", Iglesias-Paramo, Vilchez, Papaderos & Roth Eds. 2013.
- Osterbrock, D., Ferland, G., Astrophysics of Gaseous Nebulae and AGNs,

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/ 06/05/2026 - 11:02
Código seguro de verificación (CSV): 190080E76281BF8A7FAE4C074E782B2B Pág. 5 de 7

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Arnett, D. (1996): Supernovae and Nucleosynthesi, Princeton Series in Astrophysics
- Branch, D & Wheeler, C.J. (2017): Supernova Explosions (Astronomy and Astrophysics Library), Springer
- Clayton, D.D. (1968): Principles of Stellar Structure and Nucleosynthesis, Univ of Chicago
- Illiadis, C. (2015): Nuclear Physics of Stars, Wiley - VCH
- Jose, J. (2015): Stellar Explosions: Hydrodynamics and Nucleosynthesis, Taylor & Francis Group
- Kippenhahn, R. Weigert, A. (1990): Stellar structure and evolution. A&A Library
- Maeder, A. (2009): Physics, formation and evolution of rotating stars. A&A library

ENLACES RECOMENDADOS

- Digital library portal for researchers in Astronomy and Physics https://ui.adsabs.harvard.edu/
- Modelos y nucleosíntesis de estrellas de masa baja e intermedia http://fruity.oa-teramo.inaf.it/
- Propiedades fundamentales de galaxias: bases de datos y artículos de referencia. http://ned.ipac.caltech.edu/level5/
- Instituto de Astrofísica de Andalucía: https://www.iaa.es/
- Instituto de Astrofísica de Canarias: https://www.iac.es/
- Sociedad Española de Astronomía: https://www.sea-astronomia.es/
- ESO:https://www.eso.org/public/
- ESA: https://www.esa.int/
- Web del grupo "Stellar Evolution and Nucleosynthesis": http://wpd.ugr.es/~fqm292/

METODOLOGÍA DOCENTE

- MD01 Lección magistral (Clases teóricas-expositivas). Para transmitir los contenidos de las materias del módulo motivando al alumnado a la reflexión, facilitándole el descubrimiento de las relaciones entre diversos conceptos y formándole una mentalidad crítica.
- MD03 Seminarios. Para desarrollar en el alumnado las competencias cognitivas y procedimentales de la materia.
- MD04 Tutorías académicas: Para orientar al trabajo autónomo y grupal del alumnado, profundizar en distintos aspectos de la materia y orientar la formación académica

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/ 06/05/2026 - 11:02
Código seguro de verificación (CSV): 190080E76281BF8A7FAE4C074E782B2B Pág. 6 de 7

integral del estudiante.
- MD05 Estudio y trabajo autónomo del alumnado. Para favorecer en el estudiante la capacidad para autorregular su aprendizaje, planificándolo, diseñándolo, evaluándolo y adecuándolo a sus especiales condiciones e intereses.
- MD06 Estudio y trabajo en grupo. Para favorecer en los estudiantes la generación e intercambio de ideas, la identificación y análisis de diferentes puntos de vista sobre una temática, la generalización o transferencia de conocimiento y la valoración crítica del mismo.

EVALUACIÓN (instrumentos de evaluación, criterios de evaluación y porcentaje sobre la calificación final)

EVALUACIÓN ORDINARIA

Realización de cuestionarios y ejercicios escritos y evaluación de los resultados de las actividades propuestas por los profesores que se irán entregando de forma continua.: (50 %). Presentación oral de trabajos desarrollados de forma autónoma y participación en los seminarios (50 %).

EVALUACIÓN EXTRAORDINARIA

Se realizará una prueba escrita y otra oral donde el estudiante deberá demostrar que ha adquirido todas las competencias descritas en esta guía docente.

EVALUACIÓN ÚNICA FINAL

Se realizará una prueba escrita y otra oral donde el estudiante deberá demostrar que ha adquirido todas las competencias descritas en esta guía docente.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Información de interés para estudiantado con discapacidad y/o Necesidades Específicas de Apoyo Educativo (NEAE): Gestión de servicios y apoyos (https://ve.ugr.es/servicios/atencion-social/estudiantes-con-discapacidad).

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/
Código seguro de verificación (CSV): 190080E76281BF8A7FAE4C074E782B2B
06/05/2026 - 11:02
Pág. 7 de 7