

SEMESTRE	CRÉDITOS	CARÁCTER	TIPO DE ENSEÑANZA	IDIOMA DE IMPARTICIÓN
1º	6	Optativa	Presencial	Español
<b>MÓDULO</b>		Astrofísica		
<b>MATERIA</b>		Radioastronomía		
<b>CENTRO RESPONSABLE DEL TÍTULO</b>		Escuela Internacional de Posgrado		
<b>MÁSTER EN EL QUE SE IMPARTE</b>		<b>Máster Universitario en Física y Matemáticas</b>		
<b>CENTRO EN EL QUE SE IMPARTE LA DOCENCIA</b>		Instituto de Astrofísica de Andalucía, CSIC		
<b>PROFESORES<sup>(1)</sup></b>				
<b>José Francisco Gómez Rivero</b>				
<b>DIRECCIÓN</b>	Instituto de Astrofísica de Andalucía Glorieta de la Astronomía s/n, 18008 Granada Correo-e: jfg@iaa.es			
<b>TUTORÍAS</b>	Se acordará con los estudiantes			
<b>Antonio Alberdi Odriozola</b>				
<b>DIRECCIÓN</b>	Instituto de Astrofísica de Andalucía Glorieta de la Astronomía s/n, 18008 Granada Correo-e: antxon@iaa.es			
<b>TUTORÍAS</b>	Se acordará con los estudiantes			
<b>Guillem Anglada Pons</b>				
<b>DIRECCIÓN</b>	Instituto de Astrofísica de Andalucía Glorieta de la Astronomía s/n, 18008 Granada Correo-e: guillem@iaa.es			
<b>TUTORÍAS</b>	Se acordará con los estudiantes			
<b>Angela Gardini</b>				

<sup>1</sup> Consulte posible actualización en Acceso Identificado > Aplicaciones > Ordenación Docente

(∞) Esta guía docente debe ser cumplimentada siguiendo la "Normativa de Evaluación y de Calificación de los estudiantes de la Universidad de Granada" ([http://secretariageneral.ugr.es/pages/normativa/fichasugr/ngc7121/!](http://secretariageneral.ugr.es/pages/normativa/fichasugr/ngc7121/))

DIRECCIÓN	Observatorio de Calar Alto Correo-e: gardini@caha.es
TUTORÍAS	Se acordará con los estudiantes
<b>COMPETENCIAS GENERALES Y ESPECÍFICAS</b>	
<b>COMPETENCIAS BÁSICAS Y GENERALES</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CG2: Capacidad de generar y desarrollar de forma independiente propuestas innovadoras y competitivas en la investigación y en la actividad profesional en el ámbito científico de la Física y Matemáticas.</li> <li>• CG3: Presentar públicamente los resultados de una investigación o un informe técnico, comunicar las conclusiones a un tribunal especializado, personas u organizaciones interesadas, y debatir con sus miembros cualquier aspecto relativo a los mismos</li> <li>• CG5: Adquirir la capacidad de desarrollar un trabajo de investigación científica de forma independiente y en toda su extensión. Ser capaz de buscar y asimilar bibliografía científica, formular las hipótesis, plantear y desarrollar problemas y elaborar de conclusiones de los resultados obtenidos.</li> </ul>	
<b>COMPETENCIAS ESPECÍFICAS</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CE1: Resolver problemas físicos y matemáticos, planificando su resolución en función de las tiempo y recursos</li> <li>• CE2: Desarrollar la capacidad de decidir las técnicas adecuadas para resolver un problema concreto con especial énfasis en aquellos problemas asociados a la Modelización en Ciencias e Ingeniería, Astrofísica, Física, y Matemáticas</li> <li>• CE4: Tener capacidad para elaborar y desarrollar razonamientos físicos avanzados, y profundizar en los distintos campos de la física y astrofísica.</li> <li>• CE6: Demostrar la capacidad necesaria para realizar un análisis crítico, evaluación y síntesis de resultados e ideas nuevas y complejas en el campo de la astrofísica, física, matemáticas y biomatemáticas.</li> </ul>	
<b>COMPETENCIAS TRANSVERSALES</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CT5 - Capacidad de aprendizaje autónomo y responsabilidad (análisis, síntesis, iniciativa y trabajo en equipo)</li> </ul>	
<b>OBJETIVOS O RESULTADOS DE APRENDIZAJE (SEGÚN LA MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL TÍTULO)</b>	
<p><b>El alumno sabrá/comprenderá:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los fundamentos teóricos y técnicos de la radioastronomía</li> <li>• Las técnicas observacionales en radioastronomía, tanto con antena única como con interferómetros</li> <li>• La función que desempeñan la resolución angular y la sensibilidad en las observaciones</li> </ul>	



astronómicas.

- Los distintos mecanismos de emisión de ondas de radio en el cosmos.
- Los escenarios astrofísicos donde la radioastronomía tiene un papel relevante: medio interestelar, radio-supernovas, púlsares, agujeros negros, núcleos de galaxias activas.

**El alumno será capaz de:**

- Resolver casos prácticos de obtención de parámetros físicos a partir de resultados de observaciones de Radioastronomía
- Procesar datos sencillos de antenas únicas e interferómetros.
- Preparar propuestas de observación a radiotelescopios

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (SEGÚN LA MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL TÍTULO)

- Técnicas observacionales e instrumentación astronómica (telescopios, instrumentos, detectores).
- Peculiaridades en función del rango espectral, desde el infrarrojo a los rayos gamma ultraenergéticos.
- Procesos físicos de emisión y absorción.
- Campañas observacionales (preparación y obtención de datos). Manejo de archivos astronómicos. Tratamiento de datos.

#### TEMARIO DETALLADO DE LA ASIGNATURA

##### TEMARIO TEÓRICO:

### 1. Introducción a la astrofísica de ondas de radio

- 1.1. El espectro electromagnético.
- 1.2. Aspectos diferenciales de la observación en ondas de radio en comparación con otros rangos.
- 1.3. Historia de la Radioastronomía.
- 1.4. Principales logros científicos.

### 2. Radiotelescopios

- 2.1. Observables en Radioastronomía  
Patrón del haz, intensidad, densidad de flujo, temperatura de brillo, temperatura de antena.
- 2.2. El radiotelescopio de antena única.  
Antenas, poder de resolución, temperatura de sistema, calibración, métodos de observación.
- 2.3. Receptores  
Amplificadores de bajo ruido, heterodinaje, bolómetros.
- 2.4. Espectrómetros.
- 2.5. Interferometría.  
Función de visibilidad, teorema de van Citter-Zernike, haz primario, muestreo de visibilidades, desconvolución, calibración.
- 2.6. Interferometría de muy larga base.



### **3. Procesos radiativos en Radioastronomía**

#### **3.1. Transporte radiativo**

Ecuación del transporte radiativo. Coeficientes de emisión y de absorción. Temperatura de brillo. Temperatura de excitación. Perfil de líneas espectrales. Equilibrio termodinámico local. Coeficientes de Einstein. Opacidad y densidad columnar. Transiciones colisionales. Termalización.

#### **3.2. Procesos térmicos**

##### **3.2.1. Emisión de continuo libre-libre.**

Coeficiente de absorción. Medida de emisión. Espectro de una región HII homogénea. Tasa de fotones ionizantes y esfera de Strömgren. Cálculo de parámetros físicos de una región HII homogénea. Espectro de vientos estelares ionizados.

##### **3.2.2. La transición de 21 cm del HI.**

Obtención de parámetros físicos de nubes de HI.

##### **3.2.3. Emisión térmica de los granos de polvo en el medio interestelar.**

Opacidad en el rango mm-submm. Cálculo de masas.

##### **3.2.4. Transiciones moleculares.**

Aproximación de Born-Oppenheimer. Transiciones electrónicas, vibracionales y rotacionales. Transiciones rotacionales de moléculas diatómicas. La molécula de CO. Obtención de parámetros físicos de nubes moleculares a partir del CO.

#### **3.3. Procesos no térmicos.**

##### **3.3.1. Emisión máser.**

Concepto. Especificidad y utilidad respecto a otros tipos de emisión. Inversión de población. Amplificación. Regímenes y condiciones. Fuentes de emisión máser.

##### **3.3.2. Radiación sincrotrón, radiación inverso Compton.**

Radiación sincrotrón de una partícula cargada. Radiación sincrotrón de una distribución de partículas cargadas. Espectro sincrotrón.

Radiación Compton. Radiación Inverso Compton. Espectro Inverso Compton.

Evolución del espectro de una fuente emisora no-térmica.

### **4. Escenarios astrofísicos para la Radioastronomía**

#### **4.1. Medio interestelar**

Nuestra Galaxia. Componentes del medio interestelar.

El gas atómico de la Galaxia. Distribución y propiedades de las nubes de HI.

Regiones HII. Tipos de regiones HII. Distribución y propiedades.

Emisión de polvo en torno a objetos estelares en formación.

Moléculas en el medio interestelar. Distribución y propiedades de las nubes moleculares en la Galaxia.

Formación estelar en nubes moleculares. Etapas de la formación estelar. Modelos de colapso y formación estelar. Discos protoplanetarios. Formación de estrellas masivas.

Estrellas evolucionadas. Nebulosas planetarias.

#### **4.2. Radio supernovas**

Tipos de supernovas. Radio supernovas. Radio Supernovas de Colapso Nuclear. Radio emisión de las supernovas termonucleares. Espectro y evolución de las radio supernovas.

Remanentes de supernova

#### **4.3. Púlsares y radioestrellas**

Radio Estrellas. Mecanismos de Emisión. Tipos de Radio Estrellas.



Púlsares. Mecanismos de emisión. Pulsares binarios. Púlsares dobles. Púlsares como laboratorios de Física Fundamental.

#### 4.4. Galaxias: formación estelar y núcleos activos

Galaxias starburst. Tasa de formación estelar. Función inicial de masas.

Radio supernovas como trazadores de formación estelar.

Galaxias activas (AGN). Agujeros negros supermasivos. Jets relativistas. Acrecimiento versus formación estelar. AGNs de baja luminosidad. El Centro Galáctico.

#### 4.5. Sistema Solar.

Componentes de la emisión en radio del Sol.

Emisión de radio de planetas y cometas.

### TEMARIO PRÁCTICO:

## 5. Aspectos prácticos

5.1. Preparación de propuestas.

5.2. Acceso a bases de datos.

5.3. Métodos de reconstrucción de imágenes en radio.

5.4. Observación y reducción de datos.

### BIBLIOGRAFÍA

Burke, B.F., Graham-Smith, F., 1997, "An introduction to Radio Astronomy", Cambridge University Press  
Estalella R., Anglada G., 2008, "Introducción a la física del medio interestelar", Edicions Universitat de Barcelona  
Kraus, J. D., 1986, "Radio Astronomy", Cygnus-Quasar Books  
Pacholczyk, A.G., "Radio Astrophysics", Ed. W.H. Freeman and Company  
Rybicki, G.B., Lightman A.P., 1979, "Radiative Processes in Astrophysics", John Wiley & Sons  
Spitzer, L. 1978, "Physical processes in the interstellar medium", John Wiley & Sons  
Thompson, A.R., Moran, J.M., Swenson, G.W., 2001, "Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy", Wiley & Sons  
Verschuur, G.L., Kellermann, K.I. (editors), 1991, "Galactic and Extragalactic Radio Astronomy", Springer  
Wilson, T.L., Rohlfs, K., Huttemeister, S., 2013, "Tools of Radio Astronomy", Springer

### ENLACES RECOMENDADOS (OPCIONAL)

<https://science.nrao.edu/opportunities/courses/era>  
<http://www2.jpl.nasa.gov/radioastronomy/>  
[http://partner.cab.inta-csic.es/index.php?Section=Formacion\\_Profesorado](http://partner.cab.inta-csic.es/index.php?Section=Formacion_Profesorado)

### METODOLOGÍA DOCENTE

- Lecciones magistrales
- Resolución de problemas y estudios de casos prácticos
- Seminarios
- Tutorías académicas
- Realización de trabajos individuales o en grupos
- Análisis de fuentes o documentos



**EVALUACIÓN (INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN, CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y PORCENTAJE SOBRE LA CALIFICACIÓN FINAL, ETC.)**

**CONVOCATORIA ORDINARIA**

- Valoración de las pruebas, ejercicios, prácticas o problemas realizados individualmente o en grupo a lo largo del curso. 15%
- Realización, exposición y defensa final de informes, trabajos, proyectos y memorias realizadas de forma individual o en grupo. 45%
- Valoración de la asistencia y participación del alumno en clase y en los seminarios, y sus aportaciones en las actividades desarrolladas. 40%

**CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA**

- Realización, exposición y defensa final de informes, trabajos, proyectos y memorias realizadas de forma individual. 100%

**DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS QUE FORMARÁN PARTE DE LA EVALUACIÓN ÚNICA FINAL ESTABLECIDA EN LA *NORMATIVA DE EVALUACIÓN Y DE CALIFICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA***

- Realización, exposición y defensa final de informes, trabajos, proyectos y memorias realizadas de forma individual. 60%
- Examen de contenidos del temario. 40%

**ESCENARIO A (ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PRESENCIAL Y NO PRESENCIAL)**

**ATENCIÓN TUTORIAL**

<b>HORARIO</b> (Según lo establecido en el POD)	<b>HERRAMIENTAS PARA LA ATENCIÓN TUTORIAL</b> (Indicar medios telemáticos para la atención tutorial)
En cualquier momento, usando las herramientas descritas para la atención tutorial.	Se establece un primer contacto por email. De ser necesario, se utilizarán herramientas de teleconferencia, en horario acordado con el alumno

**MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE**

Las clases magistrales, resolución de problemas, y seminarios están diseñados en principio como actividad presencial. La sala escogida dependerá del número de alumnos matriculados. En cualquier caso, el Salón de Actos del IAA-CSIC tiene la suficiente capacidad para garantizar la suficiente distancia interpersonal incluso triplicando el máximo número de alumnos que se han matriculado en cursos anteriores. En el caso de no estar disponible dicha sala y no poder garantizarse la seguridad de los alumnos o si por cualquier otra razón no es posible la enseñanza presencial, se realizarán las mismas actividades docentes utilizando herramientas de teleconferencia (p.ej., Zoom, Google Meet, Zoho Meeting, Skype)

**MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA EVALUACIÓN (Instrumentos, criterios y porcentajes sobre la calificación final)**

**Convocatoria Ordinaria**

Se emplearán los mismos instrumentos de evaluación descritos anteriormente para la convocatoria ordinaria. En todos los casos, estos instrumentos pueden ser empleados tanto de forma presencial como telemática.



<b>Convocatoria Extraordinaria</b>	
Se empleará el mismo instrumento de evaluación descrito anteriormente para la convocatoria extraordinaria. Dicha prueba puede realizarse tanto de forma presencial como telemática.	
<b>Evaluación Única Final</b>	
Se emplearán los mismos instrumentos de evaluación descritos anteriormente para la evaluación única final. En todos los casos, estos instrumentos pueden ser empleados tanto de forma presencial como telemática.	
<b>ESCENARIO B (SUSPENSIÓN DE LA ACTIVIDAD PRESENCIAL)</b>	
<b>ATENCIÓN TUTORIAL</b>	
<b>HORARIO</b> (Según lo establecido en el POD)	<b>HERRAMIENTAS PARA LA ATENCIÓN TUTORIAL</b> (Indicar medios telemáticos para la atención tutorial)
En cualquier momento, usando las herramientas descritas para la atención tutorial.	Se establece un primer contacto por email. La tutoría utilizará herramientas de teleconferencia, en horario acordado con el alumno
<b>MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE</b>	
Las clases magistrales, resolución de problemas, y seminarios están diseñados en principio como actividad presencial. Sin embargo, pueden realizarse las mismas actividades docentes utilizando herramientas de teleconferencia (p.ej., Zoom, Google Meet, Zoho Meeting, Skype)	
<b>MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA EVALUACIÓN (Instrumentos, criterios y porcentajes sobre la calificación final)</b>	
<b>Convocatoria Ordinaria</b>	
Se emplearán los mismos instrumentos de evaluación descritos anteriormente para la convocatoria ordinaria. En todos los casos, estos instrumentos pueden ser empleados de forma telemática.	
<b>Convocatoria Extraordinaria</b>	
Se empleará el mismo instrumento de evaluación descrito anteriormente para la convocatoria extraordinaria. Dicha prueba puede realizarse de forma telemática.	
<b>Evaluación Única Final</b>	
Se emplearán los mismos instrumentos de evaluación descritos anteriormente para la evaluación única final. En todos los casos, estos instrumentos pueden ser empleados de forma telemática	

