Guía docente de la asignatura

Microscopía Electrónica y Técnicas de Caracterización (M44/56/3/42)

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

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

Semestre	Primero	**Créditos**	3	**Tipo**	Optativa	**Tipo de enseñanza**	Presencial

PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES

Conocimientos básicos de los fenómenos de interacción radiación-materia. Dualidad onda-partícula y empleo de electrones en microscopía. Estructura cristalina de los sólidos y métodos de difracción de radiación.

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

Introducción. Generalidades sobre la interacción radiación-materia. Difracción y absorción de rayos X en muestras amorfas y cristalinas. Ecuación de Laue, Ley de Bragg, Red reciproca y Esfera de Ewald. Reglas que rigen la difracción en TEM. Métodos experimentales e interpretación de resultados.

Espectroscopía de fluorescencia. Microscopía electrónica: fundamentos. Preparación de muestras. Técnicas existentes: contraste de amplitud: imágenes de campo claro (BF) y campo oscuro (DF), contraste de fase y alta resolución (HRTEM), barrido de electrones transmitidos (STEM), microanálisis por dispersión de energía (EDX) y microanálisis por pérdida de energía (EELS). Experimentación y resultados accesibles. Interpretación.

Espectroscopía de fotoelectrones de rayos X (XPS). Espectroscopías infrarroja y UV-Vis: ¿cuándo son aplicables a la caracterización de materiales? Nuevas microscopías: AFM, barrido-túnel.

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): DA4D30C516260FBD45F0367893A37E8A Pág. 1 de 7

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.

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

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): DA4D30C516260FBD45F0367893A37E8A Pág. 2 de 7

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.

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.

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): DA4D30C516260FBD45F0367893A37E8A
06/05/2026 - 11:02
Pág. 3 de 7

- 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 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 estudiante deberá conocer los aspectos fundamentales de la tecnología SEM y TEM-STEM, y eventualmente manejar alguno de los microscopios
existentes en el Centro de Instrumentación Científica de la UGR, aunque sea bajo supervisión. Debe ser capaz de diagnosticar las condiciones que
hacen necesario el empleo de una u otra de las técnicas disponibles. Igualmente, se requerirá que esté preparado para interpretar los resultados obtenidos
en la propia microscopía (imágenes de campo claro, campo oscuro, STEM y alta resolución), así como en difracción de rayos X, EDX, EELS,
XPS, o las espectroscopías IR, UV-Vis, fluorescencia, etc.

PROGRAMA DE CONTENIDOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

TEÓRICO

- Clase 1: Introducción. Límites de la microscopía óptica.
- Clase 2: Interacción electrón-sólido: Dispersión elástica y difracción. Ley de Bragg, red recíproca y esfera de Ewald.
- Clase 3: Interacción electrón-sólido: Dispersión inelástica y muestra gruesa. Electrones secundarios y retrodispersados. Microanálisis. Espectrometría por dispersión de energía (EDX). Espectrometría por pérdida de energía (EELS.
- Clase 4: SEM: formación de imagen. SEM ambiental. EBSD (‘electron backscattered diffraction).
- Clase 5: TEM. Formación de imagen; técnicas existentes: contraste de amplitud, imágenes de campo claro (BF) y campo oscuro (DF), contraste de fase y alta resolución (HRTEM), barrido de electrones transmitidos (STEM-HAADF), tomografías en TEM. Difracción de electrones mediante selección de área (SAED)
- Clase 6: Instrumentación. Emisores de electrones. Detectores. Lentes. Aperturas. Preparación de muestras.
- Clase 7: AFM. Componentes; modos de operación; imágenes de topografía e imágenes de fase; medidas de fuerza y otras aplicaciones

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): DA4D30C516260FBD45F0367893A37E8A Pág. 4 de 7

PRÁCTICO

Habrá 3 sesiones prácticas en el Centro de Instrumentación Científica de la UGR, de asistencia obligatoria, y cada una dedicada a uno de estos microscopios:

- Microcopio electrónico de transmisión (TEM)
- Microscopio electronico de barrido (SEM)
- Microscopio de fuerza atómica (AFM)

Se observará en directo los principales modos de operación de dichos microscopios y se estudiarán muestras representativas.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL

- Manuel Rodríguez Gallego, "La difracción de los rayos X", Alhambra, 1982.
- C. Kittel, “Introduction to solid state physics” 7th edition. John Wiley & Sons , 1996.
- B. Fultz y J. Howe. “Transmission Electron Microscopy and Diffractometry of Materials”. 4ª EdiciónSpringer 2013. Recurso electrónico en la biblioteca de la UGR.
- J. Mittemeijer and Udo Welzel (Ed), "Modern diffraction methods", Wiley-VCH, 2013.
- Qiang Wu, Fatima A. Merchant, Kenneth R. Castleman, "Microscope image processing", Elsevier/Academic Press, 2008.
- A. W. Robards, A. J. Wilson (Ed), "Procedures in electron microscopy", John Wiley & Sons, 1993
- Miguel Aballe Carride, José López Ruiz, Paloma Adeva Ramos, José María Badía Pérez, "Microscopía electrónica de barrido y microanálisis por rayos X", CSIC, 1996.
- Joseph I. Goldstein et al., "Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis", Kluwer Academic, 2003.
- D.B. Williams & C. B. Carter, “Transmission electron microscopy: A textbook for materials science.” Ed. Plenum Press, 1996.
- P. Buseck, J Cowley & L. Eyring (Eds.) “High-Resolution Transmission electron microscopy and associated techniques” Ed. Oxford Science Publications, 1992
- P. Buseck (Ed), “Minerals and reactions at the atomic scale: Transmission electron microscopy.” Rev. in Mineralogy, Vol 27. Series Editor: P.H. Ribbe. Mineralogical Society of America, 1992
- G. Haugstad, “Atomic force microscopy: exploring basic modes and advanced applications” John Wiley & Sons, 2012. Recurso electrónico en la biblioteca de la UGR.
- P.C. Braga, D. Ricci, “Atomic force microscopy in biomedical research: Methods and protocols.” Methods in Molecular Biology. Vol. 736. Springer 2011. Recurso electrónico en la biblioteca de la UGR.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

ENLACES RECOMENDADOS

- www.mse.iastate.edu/research/laboratories/sem/microscopy/ (Enlace de Iowa State

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): DA4D30C516260FBD45F0367893A37E8A Pág. 5 de 7

University sobre el SEM)
- www.fei.com/introduction-to-electron-microscopy/ (Introducción a la microscopía electrónica del fabricante FEI)
- https://warwick.ac.uk/fac/sci/physics/current/postgraduate/regs/mpagswarwick/ex5/techniques/structural/tem/ (información sobre el TEM de un consorcio de universidades australianas)
- www.doitpoms.ac.uk/tlplib/tem/index.php (página de la Universidad de Cambridge dedicada al TEM)
- www.doitpoms.ac.uk/tlplib/afm/index.php (página de la Universidad de Cambridge dedicada al AFM)

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.
- MD02 Actividades prácticas (Clases prácticas). Para desarrollar en el alumnado las habilidades instrumentales de la materia.
- 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 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

El artículo 17 de la Normativa de Evaluación y Calificación de los Estudiantes de la Universidad de Granada establece que la convocatoria ordinaria estará basada preferentemente en la evaluación continua del estudiante, excepto para quienes se les haya reconocido el derecho a la evaluación única final.

La EVALUACIÓN CONTINUA se realizará mediante:

1. Colecciones de problemas;
2. Trabajo monográfico sobre técnicas relacionadas con el curso y su aplicación en la investigación;
3. Seguimiento del trabajo de los alumnos en las sesiones prácticas.

En EVALUACIÓN CONTINUA (Convocatoria ORDINARIA) la calificación final responderá al

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): DA4D30C516260FBD45F0367893A37E8A Pág. 6 de 7

siguiente baremo:

1. Colecciones de problemas: 40%
2. Trabajo monográfico: 40%
3. Cuestiones sobre las sesiones prácticas: 20%

EVALUACIÓN EXTRAORDINARIA

El artículo 19 de la Normativa de Evaluación y Calificación de los Estudiantes de la Universidad de Granada establece que los estudiantes que no hayan superado la asignatura en la convocatoria ordinaria dispondrán de una convocatoria extraordinaria. A ella podrán concurrir todos los estudiantes, con independencia de haber seguido o no un proceso de evaluación continua. De esta forma, el estudiante que no haya realizado la evaluación continua tendrá la posibilidad de obtener el 100% de la calificación mediante la realización de una prueba y/o trabajo.

En EVALUACIÓN EXTRAORDINARIA la calificación final responderá al siguiente baremo:

1. Trabajo monográfico: 40%
2. Examen teórico-práctico: 60%

EVALUACIÓN ÚNICA FINAL

El artículo 8 de la Normativa de Evaluación y Calificación de los Estudiantes de la Universidad de Granada establece que podrán acogerse a la evaluación única final, el estudiante que no pueda cumplir con el método de evaluación continua por causas justificadas. Para acogerse a la evaluación única final, el estudiante, en las dos primeras semanas de impartición de la asignatura o en las dos semanas siguientes a su matriculación si ésta se ha producido con posterioridad al inicio de las clases o por causa sobrevenidas. Lo solicitará, a través del procedimiento electrónico, a la Coordinación del Máster, quien dará traslado al profesorado correspondiente, alegando y acreditando las razones que le asisten para no poder seguir el sistema de evaluación continua.

La evaluación en tal caso consistirá en un examen teórico-práctico (100% de la calificación) en el que pueden incluirse cuestiones de teoría, problemas y preguntas relacionadas tanto con las clases teóricas como con las sesiones desarrolladas en el Centro de Instrumentación Científica

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): DA4D30C516260FBD45F0367893A37E8A
06/05/2026 - 11:02
Pág. 7 de 7