



Asignatura: Técnicas de Caracterización de Materiales I  
Código: 32291  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Máster en Materiales Avanzados, Nanotecnología y Fotónica  
Nivel: Máster  
Tipo: Obligatoria  
Nº de créditos: 5 ECTS

## ASIGNATURA / COURSE TITLE

Técnicas de Caracterización de Materiales Avanzados I / [Techniques for Advanced Materials Characterization I](#)

### 1.1. Código / Course number

32291

### 1.2. Materia / Content area

Caracterización de materiales / [Materials Characterization](#)

### 1.3. Tipo / Course type

Obligatoria/ [Compulsory subject](#)

### 1.4. Nivel / Course level

Máster/ [Master \(second cycle\)](#)

### 1.5. Curso / Year

1º/1<sup>st</sup>

### 1.6. Semestre / Semester

1º/1<sup>st</sup>

### 1.7. Idioma / Language

Español. Se emplea también Inglés en material docente / [In addition to Spanish, English is also extensively used in teaching material](#)

### 1.8. Requisitos previos / Prerequisites

Los de acceso al Máster en Materiales Avanzados / [Those required for the admission to the Master in Advanced Materials](#)



Asignatura: Técnicas de Caracterización de Materiales I  
Código: 32291  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Máster en Materiales Avanzados, Nanotecnología y Fotónica  
Nivel: Máster  
Tipo: Obligatoria  
Nº de créditos: 5 ECTS

## 1.9. Requisitos mínimos de asistencia a las sesiones presenciales / **Minimum attendance requirement**

La asistencia es obligatoria al menos en un 80% / **Attendance at a minimum of 80% of in-class sessions is mandatory**

## 1.10. Datos del equipo docente / **Faculty data**

Docente(s) / **Lecturer(s)**      Máximo León Macarrón (Coordinador/**Coordinator**)  
Departamento de / **Department of:** Física Aplicada  
Facultad / **Faculty:** Ciencias  
Despacho - Módulo / **Office - Module**      M-12-508  
Teléfono / **Phone:** +34 91 497 4922  
Correo electrónico/**Email:** maximo.leon@uam.es  
Página web/**Website:**  
Horario de atención al alumnado/**Office hours:**

## 1.11. Objetivos del curso / **Course objectives**

El objetivo de esta asignatura es conseguir y fomentar el estudiante una serie de competencias, a través de la metodología docente y de las actividades formativas que se desarrollarán a lo largo del curso, para que al finalizar el mismo sea capaz de:

- Conocer los fundamentos de algunas de las técnicas básicas de caracterización de materiales y nanoestructuras.
- Conocer las técnicas con las que se pueda realizar la caracterización de materiales desde un amplio punto de vista, es decir, caracterización química y de la estructura electrónica, caracterización morfológica y caracterización estructural
- Comprender los fenómenos físicos y procesos físicos derivados de la interacción ión-materia
- Comprender las técnicas de análisis IBS, ERDA y PIXE y saber analizar los distintos tipos de espectros obtenidos en problemas concretos.
- Comprender los fenómenos físicos y procesos físicos derivados de la interacción fotón-materia
- Comprender las técnicas de análisis XPS y Auger y saber analizar los distintos tipos de espectros obtenidos en problemas concretos.
- Conocer los dispositivos e instalaciones de generación de rayos X.
- Comprender los fenómenos físicos y procesos físicos derivados de la difracción de rayos X en materiales sólidos, láminas delgadas y nanoestructuras.
- Conocer los diferentes métodos de obtención de intensidad difractada y saber aplicarlos a cada problema concreto.
- Saber analizar los distintos diagramas de difracción e interpretar los resultados.
- Conocer los principios básicos del microscopio electrónico de barrido (SEM).
- Conocer los principios básicos del microanálisis por energías dispersivas (EDX) y del análisis por fluorescencia de rayos X (XRF) y su aplicación al análisis composicional de los materiales.



Asignatura: Técnicas de Caracterización de Materiales I  
Código: 32291  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Máster en Materiales Avanzados, Nanotecnología y Fotónica  
Nivel: Máster  
Tipo: Obligatoria  
Nº de créditos: 5 ECTS

- Ser capaz de decidir que técnicas de caracterización adecuadas para resolver un problema concreto.

A través de la metodología docente empleada y las actividades formativas desarrolladas a lo largo del curso, el estudiante, al finalizar el mismo, será capaz de:

- Alcanzar las competencias generales y específicas de la materia y adquirir los conocimientos teóricos y prácticos descritos en sus contenidos.
- Desarrollar las competencias de carácter personal, interpersonal y vinculado al desarrollo ético y responsable de la profesión.

Estos resultados de aprendizaje contribuyen a la adquisición de las siguientes competencias del título:

#### BÁSICAS Y GENERALES

CB6 - Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación

CB7 - Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio

CB8 - Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las 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.

1 - Desarrollar destrezas teóricas y experimentales que permitan aplicar a entornos nuevos o poco conocidos, dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares), los conceptos, principios, teorías o modelos adquiridos y relacionados con los retos que actualmente plantea la sociedad en lo referente a materiales avanzados con especial interés en Nanotecnología y Fotónica.

2- Saber trabajar en equipo y comunicarse con la comunidad académica en su conjunto y con la sociedad en general acerca de los materiales de nueva generación y sus implicaciones académicas, productivas o sociales.

3- Manejar las principales fuentes de información científica, siendo capaces de buscar información relevante a través de internet, de las bases de datos bibliográficas y de la lectura crítica de trabajos científicos, conociendo la bibliografía especializada en Nanotecnología y Fotónica.

4- Elaborar un trabajo escrito con datos bibliográficos, teóricos y experimentales, escribiendo un resumen o articulado en extenso, tal y como se realizan los artículos científicos, formulando hipótesis razonables, composiciones originales y conclusiones motivadas.

5- 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.

#### ESPECÍFICAS:



Asignatura: Técnicas de Caracterización de Materiales I  
 Código: 32291  
 Centro: Facultad de Ciencias  
 Titulación: Máster en Materiales Avanzados, Nanotecnología y Fotónica  
 Nivel: Máster  
 Tipo: Obligatoria  
 Nº de créditos: 5 ECTS

6 - Ampliar los conocimientos de los principios fundamentales de la Física del Estado Sólido y la Física de Materiales, siendo capaz de aplicar estos a los materiales avanzados ya sea en forma de volumen o de nanoestructuras, para aplicaciones en Fotónica y en Nanotecnología

7 - Conocer los últimos avances en el campo de los materiales avanzados.

9- Demostrar la capacidad necesaria para realizar un análisis crítico, evaluación y síntesis de ideas nuevas y complejas en el campo de la Fotónica y la Nanotecnología

10- Desarrollar la capacidad de síntesis y transferencia de los conocimientos adquiridos en el campo de la Fotónica y la Nanotecnología para fomentar la integración multidisciplinar en áreas tales como la medicina, el medioambiente, la biomedicina, la química y la biología.

11- Dominar los fundamentos teóricos y prácticos de técnicas con las que se pueda realizar la caracterización de materiales tanto química y de la estructura electrónica, como morfológica, composicional y estructural

12- Desarrollar la capacidad de decidir la técnica ó técnicas de caracterización adecuadas para resolver un problema concreto con especial énfasis en aquellos problemas asociados a los Nanomateriales y materiales Fotónicos

13- Manejar e interpretar los fundamentos y los aspectos más innovadores y algunas aplicaciones de última generación de materiales semiconductores y magnéticos y dispositivos electrónicos y opto-electrónicos de elevadas prestaciones.

## 1.12. Contenidos del programa / Course contents

### 1. ANÁLISIS CON HACES DE IONES DE ALTA ENERGÍA (15h)

#### 1.1. Interacción ion-materia

Interacciones básicas ion-materia. Procesos físicos derivados de la interacción ion-materia.

#### 1.2. Espectrometría de retrodispersión de iones (Ion Backscattering Spectroscopy, IBS)

Resolución de la interacción elástica. Factor cinemático. Sección transversal de dispersión. Pérdida específica de energía. Sección transversal de frenado. Factor de pérdida de energía. Factor de sección transversal de frenado. Ejemplos de aplicación de la espectroscopía de retrodispersión elástica de iones.

#### 1.3. Análisis mediante la detección de retroceso elástico (Elastic Recoil Detection Analysis, ERDA)

Introducción a la técnica ERDA. Expresiones analíticas. Análisis de capas delgadas. Configuraciones experimentales de la técnica ERDA. Ejemplos ilustrativos de la aplicación de la técnica ERDA al estudio de láminas delgadas.

#### 1.4. Emisión de Rayos X inducida por partículas (Particle Induced X-Ray Emission, PIXE)

Principio físico. Caracterización de los espectros de PIXE: Fondo continuo, picos de rayos X característicos, picos de escape, picos suma, picos satélites de radiactividad Auger. Ecuación de PIXE: Sección eficaz de producción de rayos X, fluorescencia secundaria, detectores, factores experimentales. Análisis de muestras delgadas y muestras gruesas. Sensibilidad. Ejemplos de aplicación de PIXE.

### 2. ESPECTROSCOPIAS DE ELECTRONES (XPS Y AES) (16h)

#### 2.1. Introducción.

Fundamentos, Estructuras intrínsecas, Dispersión inelástica, Corrimientos químicos, Modelo de cargas puntuales, Ejemplos, Otras técnicas relacionadas

#### 2.2. Energías de ligadura. Corrimientos químicos



Asignatura: Técnicas de Caracterización de Materiales I  
 Código: 32291  
 Centro: Facultad de Ciencias  
 Titulación: Máster en Materiales Avanzados, Nanotecnología y Fotónica  
 Nivel: Máster  
 Tipo: Obligatoria  
 Nº de créditos: 5 ECTS

- Teorema de Koopmans, Energía de relajación, Pérdidas intrínsecas o shake-up, Corrimientos químicos Auger, Parámetro Auger, Corrimientos químicos XPS relativos
- 2.3. Forma y anchura de los picos  
 Contribuciones instrumentales, Falta de homogeneidad superficial, Corrimientos químicos Auger, Shake-up no resuelto. Metales, Fonones, Forma y anchura intrínseca
  - 2.4. Análisis cuantitativo con XPS Intensidad de los picos XPS, Modelo fundamental, Muestra homogénea, Referencias internas y factores de sensibilidad, Medida de la Intensidad y determinación del fondo, Modelo de capas
  - 2.5. Espectroscopía AES excitada con electrones. Instrumental. Principios. Análisis cualitativo. Análisis cuantitativo
  - 2.6. Instrumental y experimental  
 Sistema de vacío y espectrómetro, Fuente de rayos-X, Cañón de electrones, Analizador, Referencia de energías
  - 2.7. Fotoemisión de la banda de valencia  
 Teoría dieléctrica de la ionicidad. Ejemplo en antimonio alcalinos. Compuestos de metales de transición: óxidos y nitruros. Comparación con DOS.
  - 2.8. Caracterización de Nanoestructuras con XPS  
 Efectos de Superficie. Efectos de intercara. Caracterización de Nanopartículas y nanoestructuras.
3. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL: DIFRACCIÓN DE RAYOS X (7h)
    - 3.1. Generación y propiedades de rayos X  
 Introducción: Generadores convencionales. Propiedades del Espectro. Detectores. Absorción. Sincrotrón.
    - 3.2. Teoría de la difracción  
 Introducción. Interacción de los rayos X con la materia: Difusión por  $1 e^-$ ; por 1 átomo; factor de temperatura. Difusión por varios áts.; Difusión por Cristal: Difracción. Red recíproca; Ecs. de Laue y Ley de Bragg; Factor de estructura; Factor de forma; Intensidad difractada
    - 3.3. Métodos para obtener intensidad difractada.  
 Método de Laue . Método de polvo: Difractómetro.
    - 3.4. Análisis estructural: materiales policristalinos y láminas delgadas.  
 Diagrama de difracción de polvo. Refinamiento de estructura: Método Rietveld. Identificación de fases; análisis cuantitativo. Determinación del tamaño de los cristalitos
  4. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y COMPOSICIONAL (3h)
    - 4.1. Microscopio electrónico de barrido (SEM). Principios básicos e instrumentación. Imagen por emisión de electrones secundarios y por electrones retrodispersados.
    - 4.2. Microanálisis por energías dispersivas (EDX). Principios básicos e instrumentación. Microanálisis cualitativo. Análisis cuantitativo.
    - 4.3. Análisis por fluorescencia de rayos X (XRF). Principios básicos e instrumentación. Análisis cualitativo. Análisis cuantitativo. Fluorescencia por reflexión total (TXRF).



Asignatura: Técnicas de Caracterización de Materiales I  
 Código: 32291  
 Centro: Facultad de Ciencias  
 Titulación: Máster en Materiales Avanzados, Nanotecnología y Fotónica  
 Nivel: Máster  
 Tipo: Obligatoria  
 Nº de créditos: 5 ECTS

### 1.13. Referencias de consulta / Course bibliography

- *Caractérisation expérimentale des matériaux*. J-L. Martin y A. George. Presses polytechniques et universitaires Romandes. 1998
- *Fundamentals of crystallography*. Ed. C. Giacovazzo. International union of Crystallography. Oxford Sciences Press 1994
- *Structural and chemical analysis of materials*. J. P. Ebehart. J. Wiley & sons 1991
- *X-ray diffraction*. B. E. Warren. Dover Pub. Inc., New York 1990
- *Elements of x-ray diffraction*. B. D. Cullity. Addison-Wesley Pub. Co. Inc. 1978
- *Atomic & ion collisions in solids and surfaces*. R. Smith. Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
- *Ion-solid interactions*. M. Nastasi, Cambridge University Press, Cambridge, 1996.
- *Ion beam for material analysis*, J.R. Bird, J.S. Williams. Academic Press, Marrickville, 1989.
- *High energy ion beam analysis of solids*, Eds. G. Götz, K. Gärtner, Jena, 1986.
- *Backscattering spectrometry*, W.K. Chu, J.W. Mayer, M.A. Nicolet. Academic Press, San Diego, 1978.
- *Particle-Induced X-Ray Emission Spectrometry (PIXE)*. S. A. E. Johansson, J. L. Campbell, K. G. MalmQvist, , Chemical Analysis Series, Vol. 133, John Wiley & Sons, Inc. 1995.
- *Surface Analysis by Auger and X-ray Photoelectron Spectroscopy*, D.Briggs, J.T.Grant (ed.), IM Publication and Surface Spectra, 2003.
- *Practical surface analysis, Vol.1, Auger and X-ray photoemission spectroscopy, 2<sup>nd</sup> ed.*, D.Briggs, M.P.Seah (ed.), J. Wiley & S., 1990.
- *Photoemission in solids, Vol.1 & 2*, M.Cardona, L.Ley (ed.), Topics in Appl. Phys. 26 & 27, Springer, 1978/79
- S.Hüfner, *Photoelectron spectroscopy*, Springer Series in Solid-State Scienced 82, 1995.
- T.L.Barr, *Modern ESCA. The principles and practice of X-ray photoelectron spectroscopy*, CRC, 1994.
- D.P.Woodruff, T.A.Delchar, *Modern techniques of surface science, 2<sup>nd</sup> ed.*, Cambridge U. P., 1994

## 2. Métodos docentes / Teaching methodology

Se impartirán, clases magistrales, que se ilustrarán debidamente con clases prácticas, bien de problemas, bien de laboratorio. Asimismo algunas clases tendrán carácter de seminarios sobre temas avanzados y alguna técnica más específica de caracterización. Se propondrán problemas y trabajos dirigidos. Se utilizarán recursos informáticos para ilustrar algunas técnicas y se manejarán programas que permiten la interpretación y cuantificación de los resultados obtenidos.

Se realizarán tutorías periódicas en las que los alumnos podrán consultar dudas sobre los aspectos en los que hayan encontrado mayores dificultades. Además el alumno podrá solicitar tutorías individuales bajo cita previa.



Asignatura: Técnicas de Caracterización de Materiales I  
 Código: 32291  
 Centro: Facultad de Ciencias  
 Titulación: Máster en Materiales Avanzados, Nanotecnología y Fotónica  
 Nivel: Máster  
 Tipo: Obligatoria  
 Nº de créditos: 5 ECTS

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

125 h

		Nº de horas	Porcentaje
Presencial	Clases teóricas	41h	36%=45h
	Clases prácticas		
	Realización del examen final	4 h	
No presencial	Realización de actividades prácticas	16 h	64%=80h
	Estudio semanal ( <b>8h/semana x 6 semanas</b> )	48 h	
	Preparación del examen	16 h	
<b>Carga total de horas de trabajo: 25 horas x 5 ECTS</b>		<b>125 h</b>	

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

#### EVALUACIÓN ORDINARIA

La evaluación de la asignatura será continua tanto en las clases teóricas como prácticas. Se resolverán casos prácticos de las diversas técnicas estudiadas y los alumnos deberán presentar el análisis de los resultados de los casos planteados en clase. Se valorará la iniciativa de los alumnos para proponer problemas y casos prácticos relacionados con cada tema del curso.

La evaluación final del curso corresponderá a la suma de estas dos contribuciones:

1. 50% de la nota será evaluada con la entrega de trabajos de los casos prácticos planteados en clase.
2. el 50% restante a través de la realización de un examen de carácter práctico de cada una de las cuatro partes de que consta la asignatura al final de curso.

#### EVALUACIÓN EXTRAORDINARIA

El 50% de la calificación correspondiente a la evaluación continua (entrega de trabajos de los casos prácticos planteados en clase.) no es re-evaluable. Se realizará un examen extraordinario exclusivamente en el caso en que la evaluación continua haya sido superada.

Los resultados de aprendizaje serán evaluados a lo largo del curso mediante los métodos de evaluación arriba expuestos.

- En la resolución de problemas se evaluarán los resultados de aprendizaje relacionados con la aplicación de los contenidos teóricos a la resolución de problemas concretos y la defensa de artículos de investigación. Se evaluarán las competencias 2 y 3.



Asignatura: Técnicas de Caracterización de Materiales I  
 Código: 32291  
 Centro: Facultad de Ciencias  
 Titulación: Máster en Materiales Avanzados, Nanotecnología y Fotónica  
 Nivel: Máster  
 Tipo: Obligatoria  
 Nº de créditos: 5 ECTS

- En la presentación y puesta en común de artículos científicos se evaluarán la capacidad de análisis y síntesis, de búsqueda bibliográfica y selección de información, elaboración de informes, presentación e interpretación de resultados. Se valorará especialmente el espíritu crítico. Se evaluarán las competencias 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7
- En la prueba escrita se evaluarán los resultados del aprendizaje relacionados con la adquisición de contenidos teóricos y su aplicación a la resolución de problemas, así como el análisis crítico y la capacidad de síntesis.

## 5. Cronograma\* / Course calendar

Semana Week	Contenido Contents	Horas presenciales Contact hours	Horas no presenciales Independent study time
1	Tema 1	7,5	12
2	Tema 1	7,5	12
3	Tema 2 2.1 – 2.4	7	11
4	Tema 2 2.5 – 2.8	9	14
5	Tema 3	7	11
6	Tema 4	3	4

\*Este cronograma tiene carácter orientativo.