

## Erasmus Mundus Master in Membrane Engineering EM3E

### NOE Nanomempro

The EM<sup>3</sup>E project has emerged from discussion between the partners of the [Network Of Excellence NOE Nanomempro](#) : the European Network of Excellence on Nanoscale-based Membrane Technologies. After 4½ years of operation, the NanoMemPro project ended on 1<sup>st</sup> March 2009. A legal entity, which enables a continuation of the NanoMemPro's strategies, has been created : The European Membrane House. The services, expertise, members, events and resources offered by the EMH are on [www.euromemhouse.com](http://www.euromemhouse.com).

### The European Membrane Society supports the project

The European Membrane Society is the European society in charge of promoting membrane science and technology in new worlds and towards new goals. The members of the society support the project of Erasmus Mundus Joint Master and Doctorate programme. The society is ready to participate actively to these programmes which are a key to the development of the knowledge and of a better education in the field.

### What is Membrane engineering ?

Environmental considerations like massive scale air or water pollution and also the gradual rarefaction of the fossil energy resources gave rise to the concept of sustainable growth and to related strategies like process intensification, reuse of water and solvents at their point of use, hydrogen as energetic vector (requiring H<sub>2</sub> production and using fuel cells as electric generators) or CO<sub>2</sub> capture and storage.

Membranes have a **key role to play in the new technologies** and in the separation operations associated with these strategies.

Moreover **a lot of separation operations are currently performed using membranes in industrial processes**. Among the major applications for liquids, it can be mentioned the water desalination, the preparation of food, beverage, dairy or pharmaceutical products or the treatment and the recycling of industrial effluents, the production of tap or ultrapure water, the dehydration of ethanol, the dialysis of blood (kidney machine)... For gas separation, some examples of current applications are the removal of hydrogen from ammonia synthesis gas, the removal of carbon dioxide from natural gas and the air separation. Intensive efforts of R&D are now engaged over the world to develop high performance membranes.

As an example, the membrane technologies are identified as "[Key Technologies 2015](#)" by the French government. On the other hand, the European Federation of Chemical Engineering (EFCE) has now a new section dedicated to « Membrane Engineering ». A Network Of Excellence "Nanomempro" focused on this domain has been supported by Europe during the last 4 years.

### The master EM3E

The Master in Membrane Engineering EM3E offers an advanced education programme related to membrane science and engineering at the interface between material science and chemical engineering and focused on specific applicative fields. It involves 6 Higher Education Institutions of 5 European countries:

- University Montpellier 2 (France), coordinating organisation,
- University Paul Sabatier (Toulouse, France),
- Institute of Chemical Technology Prague (Czech Republic),
- University of Lisboa (Portugal),
- University of Zaragoza (Spain) and
- University of Twente (Netherlands).

Associated partners are the University of Calabria (Italy), the Catholic University of Leuven (Belgium) and the University Hassan II of Mohammedia (Morocco).

The pedagogical project of Master comes from the closely collaboration between partners through the European Research Network of Excellence NanoMemPro. The Master course will have a duration of two years: 4 semesters corresponding to 30 ECTS each and given at least in 3 countries. In the **first year**, theoretical and practical fundamentals will be provided: After an integration week, students will enter the Master either at University Montpellier 2 or at University Paul Sabatier. In each of these universities, there will be common mandatory and optional units, corresponding to teaching and research field of excellence of each partner (material science in Montpellier and physico-chemical processes in Toulouse). This **first semester** will be adapted to students by taking into account the background and their learning objectives. During the **second semester**, students will follow

mandatory teaching units to acquire knowledge and skills on process modelling and simulation at the Institute of Chemical Technology of Prague. During the **second year**, students will choose to pursue their training in one of three university in order to acquire specific skills in an application field: **Nanosciences and Nanotechnology (University of Zaragoza)**, Energy and Environment (University of Twente), and Biotechnologies, Food and Health (University of Lisboa). The **last semester** will be devoted to a 6 months master thesis in a university or an industrial company. The number of enrolled students is expected to be 30.

The language of instruction is English. During the study period, the courses and activities country languages and culture are also provided. Students will be awarded with a multiple Master's degrees from the three hosting universities, together with a Diploma Supplement.

### Master Programme

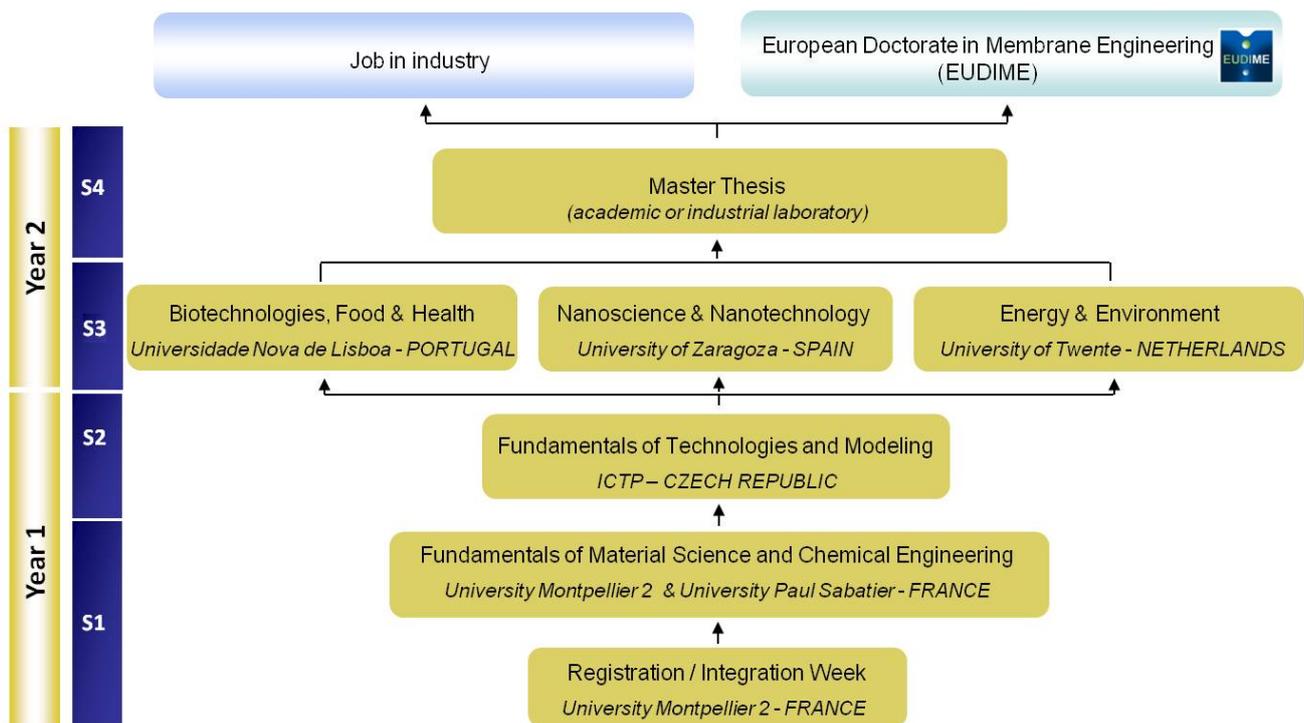
The EM3E Master programme takes 2 years (120 ECTS) of normal study. The courses provided in the four semesters, S1-S4, bridge different scientific domains like material science, physics & chemistry, engineering & processes, while keeping a focus on relevant applications of membranes in food and health industry, industrial and chemical processing, energy, environmental control, pharmaceutical industry, biomedical applications, etc.

During semester S1, after registration and an integration week at the University of Montpellier 2 (UM2), France, all the students will stay together at the University of Montpellier 2 (France) or at the University of Toulouse 3 (UPS), France (the location will be swapped every other academic year between the two universities). The first semester will be on fundamentals of Materials Science and Chemical Engineering. Depending on their bachelor track and on the option chosen when applying, students, will have the opportunity to choose between two specialities (four courses) more focused on Materials Science or on Chemical Engineering.

Semester S2 will be on fundamentals of process modelling and technologies at the Institute of Chemical Technology of Prague (ICTP), Czech Republic. The courses offered in the first year, semesters S1 and S2, will provide a broad and flexible orientation in the field of science and technology of membranes. In the second year, semester S3, the students can specialize in one of the following three tracks:

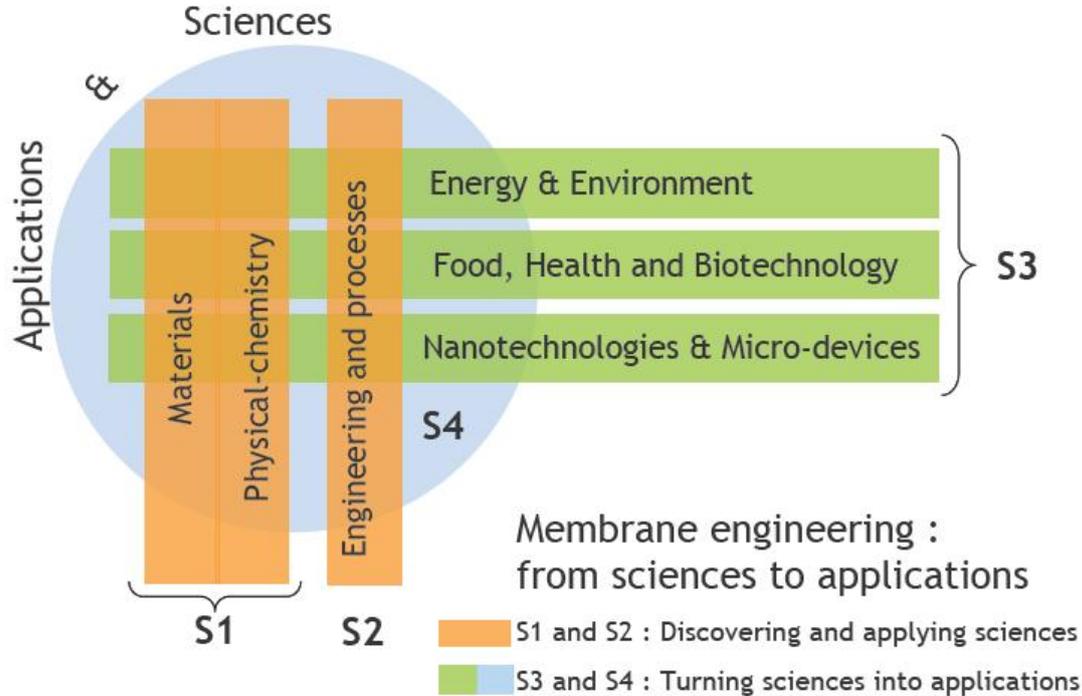
- Biotechnologies, Food and Health, at the University of Lisboa (UNL), Portugal (~ 10 students)
- Nanoscience and Nanotechnology, at the University of Zaragoza (UNIZAR), Spain (~ 10 students)
- Energy and Environment, at the University of Twente (UTwente), The Netherlands (~ 10 students).

In the final semester, S4, the students learn how to work independently for a period of 6 months on an extensive research project, in either a university or industrial environment. The student will be primarily responsible for progress, planning and discussion with supervising lecturers.



**The content of courses**

The courses offered in the master are at the interface with different sciences (material science, physical-chemistry, chemical engineering ...) which are applied on various specific applicative fields (energy, environmental, food industry, pharmacy, biomedical application ...).



The first year (S1 and S2) is dedicated to courses on materials sciences, physical-chemistry and engineering. The first semester of the second year (S3) has for objectives to turn these sciences into applications.

<b>Semester 3: UNIZAR, Spain (30 ECTS)</b>			
<b>Module 3.B.1– 30 ECTS</b>			
<i>Course</i>	<i>Type</i>	<i>ECTS</i>	<i>Responsibility</i>
Fundamental properties of nanostructured materials	Mandatory	6	UNIZAR
Preparation of nanostructured materials	Mandatory	6	UNIZAR
Assembly and fabrication of nanostructures	Mandatory	6	UNIZAR
Case studies of industrial applications	Mandatory	6	UNIZAR
Individual project (bibliographic and experimental study)	Mandatory	6	UNIZAR
<b>Module 3.B.2 – - ECTS</b>			
<i>Course</i>	<i>Type</i>	<i>ECTS</i>	<i>Responsibility</i>
Spanish language and culture	Mandatory*	-	UNIZAR
<b>Semester 4: 30 ECTS</b>			
Module 4 - 24 weeks, research assignment in industry or university			

(\*) Mandatory for at least one of first three semesters and associated with an oral presentation of the individual project in the corresponding national language.



**Master thesis**

The last semester will be devoted to a 6 months **master thesis** in a University or an industry preferentially inside the network of excellence. The network gathers 15 laboratories selected for the high quality of their research in the field of focus in 13 different countries.

## Descripción detallada de las asignaturas que imparte la Universidad de Zaragoza

### 1. Propiedades Fundamentales de los Materiales Nanoestructurados (Fundamental Properties of Nanostructured Materials) (6.00 ECTS, semestral)

#### Breve presentación de la asignatura

En la escala de los átomos y las moléculas, la conocida como nanoescala, tiene lugar una convergencia de la Física, la Química, la Bioquímica, la Ciencia de los Materiales, la Ingeniería y la Bioingeniería hacia los mismos principios teóricos y técnicas experimentales. En este primer módulo se revisarán los conceptos básicos dentro de estas disciplinas necesarios para que los estudiantes comprendan y asimilen la información más avanzada que se estudiará en los siguientes módulos.

Una breve descripción de los contenidos de esta asignatura incluye:

Introducción a la Nanociencia y la Nanotecnología. Nanomateriales vs. materiales macroscópicos. Introducción a la Química Supramolecular. Estructura y propiedades de moléculas orgánicas nanoscópicas (nanotubos, fullerenos, dendrímeros, copolímeros en bloque...). Química Física de superficies. Coloides, tensoactivos, monocapas, micelas, vesículas, cápsulas. Nanobiomateriales. Biomacromoléculas. Propiedades ópticas, eléctricas, magnéticas y mecánicas de los nanomateriales. Nanotoxicología y eco-nanotoxicología.

#### Resultados de aprendizaje que definen la asignatura:

La superación de esta asignatura supone que el estudiante ha alcanzado ya los siguientes resultados:

1. Reconocer materiales y compuestos de especial relevancia en la nanoescala, identificando el grado de avance alcanzado y los problemas por resolver.
2. Diferenciar los sistemas macro, micro y nano, identificando las herramientas fisicoquímicas necesarias para trabajar en la nanoescala.
3. Valorar el estado de la legislación vigente sobre materiales nanoestructurados, analizando su potencial toxicidad y posible influencia sobre la salud, el medio ambiente y la sostenibilidad.
4. Identificar el potencial científico y tecnológico de los materiales nanoestructurados valorando, por un lado, el interés social por la miniaturización de los dispositivos y con ello las nuevas y revolucionarias aplicaciones de éstos y, por otro lado, reconocer la existencia de un nuevo contexto científico y tecnológico regido por las leyes en la nanoescala, las leyes de la Mecánica Cuántica.

#### Sentido, contexto, relevancia y objetivos generales de la asignatura

La asignatura y sus resultados previstos responden a los siguientes planteamientos y objetivos:

Es de esperar que los avances científicos en el mundo nano provoquen cambios dramáticos en nuestra comprensión del diseño y fabricación de nanodispositivos que exploten algunas de las propiedades excepcionales de los materiales que únicamente se manifiestan en la nanoescala. Por ello se dice que la Nanotecnología va a constituir, si es que no lo es ya, la revolución del siglo XXI, debido a las numerosas implicaciones sociales que la Nanociencia y la Nanotecnología tendrán en nuestra vida diaria (los alimentos, la ropa, las casas, los coches, las terapias médicas, etc.).

A través de este primer módulo del máster se identificará el potencial de trabajar en la nanoescala en disciplinas tan diversas como la nanofísica, la nanoquímica y la nanobiomedicina. El alumno adquirirá una serie de conocimientos generales sobre el estado actual (científico, social, económico, legal, etc.) de la Nanociencia y la Nanotecnología. Asimismo le permitirá conocer aspectos teóricos fundamentales sobre la naturaleza y las propiedades de los nanomateriales que le ayudarán a comprender la interrelación entre la estructura y composición química de los materiales y sus propiedades químicas, físicas y mecánicas.

#### Contexto y sentido de la asignatura en la titulación

Como se ha indicado anteriormente, este módulo pretende sentar las bases teóricas sobre conceptos fundamentales de Química, Física, Ciencia de los Materiales, Bioquímica, Ingeniería, Bioingeniería y Nanoseguridad para que los estudiantes afronten con éxito los descriptores que se estudiarán en los siguientes módulos de la titulación.

Al superar la asignatura, el estudiante será más competente para...

1. Conocer el estado del arte de la Nanociencia y la Nanotecnología, valorando su carácter multidisciplinar así como sus implicaciones sociales, económicas y legales.

2. Comprender las diferencias conceptuales entre los sistemas macro y nano, adquiriendo los conocimientos teóricos necesarios para aproximarse a la nanoescala.
3. Identificar materiales y compuestos de especial relevancia en la nanoescala, evaluando el grado de avance alcanzado y los problemas por resolver.
4. Comprender la importancia de los efectos superficiales y las nuevas fuerzas que aparecen en la nanoescala así como su influencia en las propiedades de los sistemas nanoscópicos.
5. Evaluar propiedades de especial interés en materiales nanoestructurados.
6. Conocer el estado de la legislación vigente sobre materiales nanoestructurados, analizando su potencial toxicidad y posible influencia sobre la salud, el medio ambiente y la sostenibilidad.

#### **Importancia de los resultados de aprendizaje que se obtienen en la asignatura:**

El enorme potencial de la Nanociencia y la Nanotecnología ha calado profundamente en políticos, empresarios, y en la propia sociedad surgiendo nuevas demandas para especialistas al más alto nivel en su campo. Por ello, un objetivo fundamental de este máster es la formación de profesionales dotados de la comprensión, los conocimientos y las competencias necesarias para el ejercicio de actividades profesionales superiores en distintos ámbitos (industria – producción de nuevos materiales, industria electrónica, farmacéutica, química, aeroespacial, etc. – consultorías, investigación, docencia, ...).

En el contexto de este máster, el módulo “*Propiedades fundamentales de los Materiales Nanoestructurados*” pretende concienciar al estudiante de la relevancia de la Nanociencia y la Nanotecnología en la realidad científica y tecnológica de la sociedad del siglo XIX dotándole de las herramientas fundamentales necesarias para afrontar el estudio en profundidad de todos los aspectos que conlleva el diseño y la creación de nuevos y eficientes nanodispositivos, abordando la síntesis, el procesado, la caracterización y la determinación de las propiedades de los mismos a la par que se evalúan otros aspectos como la sostenibilidad, seguridad, rentabilidad económica, etc

#### **Actividades de evaluación**

1. Prueba escrita al final del período docente del primer semestre (50% de la calificación final del módulo). En ella se valoran los conocimientos teóricos adquiridos y su aplicación a problemas de interés en Nanociencia y/o Nanotecnología así como el grado de éxito en adquisición de las competencias propias de este módulo. Este examen escrito constará de:

(1) Cuestiones teóricas que incluirán: (i) tema/s a desarrollar y (ii) preguntas tipo “test”. A través de esta prueba escrita se evaluará el conocimiento del alumno sobre el estado del arte en Nanociencia/nanotecnología, propiedades eléctricas, magnéticas, ópticas y mecánicas propias de los nanomateriales, interrelación entre la estructura y la composición química de los materiales nanoestructurados, importancia de los efectos superficiales y el estado de la legislación vigente sobre Nanociencia y nanotecnología.

(2) El examen también contará con una sección dedicada a la resolución de problemas y ejercicios donde se valorará la capacidad de tratamiento de los datos, evaluación de propiedades químico-físicas, distinción entre la macro y la nanoescala, utilización de las unidades del SI apropiadas, etc.

2. Participación del estudiante en las clases y seminarios, así como trabajos monográficos sobre temas incluidos en el módulo (50% de la calificación total del módulo). Mediante estas pruebas se pretenden evaluar los resultados del aprendizaje alcanzados en relación a las competencias propias de este módulo como interpretación de datos, destreza en la comunicación oral y escrita, interacción con compañeros y profesionales de otras disciplinas, etc.

#### **El proceso de aprendizaje que se ha diseñado para esta asignatura se basa en lo siguiente:**

Este módulo tiene como finalidad sentar las bases de los principios fundamentales de la Física, la Química, la Biología, la Ciencia de los Materiales, Ingeniería, Bioingeniería y Nanoseguridad necesarios para abordar con éxito los siguientes módulos, que ya tendrán un carácter eminentemente aplicado.

Por esta razón, tras una visión general de estos principios fundamentales trabajada a través de clases magistrales participativas se pasará a una actividad de análisis de casos y problemas en los que pueden observarse, profundizarse, valorarse y matizarse esos principios, y se termina con una actividad de elaboración de seminarios en la que el estudiante se pone a prueba en la elaboración de una memoria sobre el estado del arte de un tema de interés relevante en el contexto de este módulo.

#### **El programa que se ofrece al estudiante para ayudarle a lograr los resultados previstos comprende las siguientes actividades.:**

1. Cada capítulo de contenidos que integra el programa del módulo, será presentado, analizado, y discutido por el profesor a través de clases magistrales participativas durante 50 minutos. Los profesores proporcionarán a los

estudiantes las notas, apuntes o resúmenes del contenido de la clase antes del comienzo de la misma así como la literatura recomendada para la profundización en dicho tema.

2. Discusión abierta de los conceptos básicos y su aplicación. Comparación con el desarrollo real. Resolución de problemas y casos prácticos. Todo ello se desarrollara igualmente en el contexto de clases participativas de 50 minutos.

3. Realización de trabajos individuales. Cada estudiante elaborará, convenientemente autorizado por un profesor del módulo, una memoria de unas 20 páginas que revisará el estado del arte de un tema candente en el contexto de la Nanociencia. Además, los estudiantes presentarán ante sus compañeros y los profesores del módulo este trabajo mediante una exposición oral de unos 20 minutos.

### **Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos**

Este calendario se hará público al comienzo de cada curso académico a través de la página web del máster: [www.unizar.es/nanomat](http://www.unizar.es/nanomat)

### **Recomendaciones para cursar esta asignatura**

El módulo "*Propiedades Fundamentales de los Materiales Nanoestructurados*" es obligatorio y consta de 6 créditos ECTS o 150 horas de trabajo del estudiante. Se imparte en el primer cuatrimestre del curso académico.

El objetivo de este módulo es introducir al estudiante en el estado del arte de la Nanociencia y la Nanotecnología, subrayando su carácter multidisciplinar así como sus implicaciones científicas, sociales, económicas y legales.

Constituye, por tanto, un módulo introductorio que supondrá una preparación previa para que los estudiantes puedan asimilar y correlacionar los contenidos de los módulos sucesivos que se ocuparán secuencialmente de formar al estudiante en la síntesis, procesado, y caracterización de los materiales nanoestructurados para, posteriormente, ser capaces de diseñar y proyectar nanodispositivos con aplicaciones en el mercado real.

Por su carácter de módulo preparatorio es prioritario que los estudiantes tengan disponibilidad para el estudio de los conceptos impartidos en el mismo, para así afrontar con éxito y con unos sólidos fundamentos teóricos el resto de módulos de este máster.

Dado que toda la titulación se imparte en inglés, los estudiantes deberán tener un nivel medio-alto de este idioma.

### **Actividades y fechas clave de la asignatura**

El inicio de las clases de este módulo se corresponderá con el comienzo del curso académico y se extenderá durante, aproximadamente, tres meses.

El horario de las clases será en sesiones de tarde y el calendario de las mismas y las fechas de examen se harán públicas antes del comienzo de cada curso académico en la página web del máster: [www.unizar.es/nanomat](http://www.unizar.es/nanomat)

## **2. Preparación de Materiales Nanoestructurados para Aplicaciones Nanotecnológicas (Nanostructured Materials for Nanotechnology Applications) (8.00 ECTS, semestral)**

### **Breve presentación de la asignatura**

En esta asignatura se presentarán los dos tipos de aproximaciones empleadas para la fabricación de materiales nanoestructurados, es decir, los métodos de arriba abajo (o top-down) que consisten en "esculpir" un material macro o micro hasta alcanzar las dimensiones nanoscópicas, y los métodos de abajo a arriba (o bottom-up) en los que los átomos y las moléculas son manipulados a modo de "ladrillos" para construir un edificio molecular nanoscópico.

Una breve descripción de los contenidos de esta asignatura incluye:

Presentación de los métodos de preparación de materiales nanoestructurales: aproximación descendente ("top-down") y ascendente ("bottom-up"). Métodos de preparación de películas delgadas, mono y multicapas moleculares: depósito químico en fase vapor (CVD), depósito físico en fase vapor (PVD), depósito en fase líquida ("cast films", "spin coating", "spray coating", "ink printing", "dip-coating", "layer-by-layer", Langmuir-Blodgett, epitaxia en fase líquida, electrodeposición, etc.), depósito en fase sólida ("powder deposition", "screen printing"). Litografía óptica. Litografía por haces de electrones. Litografía por haces de iones. Litografía mediante sonda local. Litografía mediante nanoimpresión.

Las clases teóricas serán complementadas por la realización de cuatro sesiones prácticas que incluyen:

- 1.- Técnicas de deposición en fase líquida
- 2.- Litografía Óptica
- 3.- PLD Sputtering
- 4.- Nanolab

### **Resultados de aprendizaje que definen la asignatura**

La superación de esta asignatura supone que el estudiante ha alcanzado ya los siguientes resultados:

1. Disponer de una visión crítica sobre diferentes técnicas químicas y físicas de preparación de materiales nanoestructurados identificando las ventajas y limitaciones de cada método acorde al tipo de material con el que se vaya a trabajar.
2. Identificar y correlacionar las características únicas de los materiales de partida, la técnica de preparación utilizada y las características y propiedades finales de las nanoestructuras obtenidas.
3. Valorar las dificultades prácticas que conlleva la fabricación de materiales nanoestructurados, desarrollar la capacidad de diseñar estrategias para su solución y ser capaz de elegir la aproximación más conveniente en cada caso.
4. Planificar, diseñar y ejecutar experimentos que permitan la fabricación de nanomateriales con un valor añadido, evaluando la problemática, los riesgos, y los resultados.

#### **Sentido, contexto, relevancia y objetivos generales de la asignatura**

La asignatura y sus resultados previstos responden a los siguientes planteamientos y objetivos:

Un exhaustivo control del orden a nivel atómico y molecular logra optimizar y potenciar las propiedades de los materiales. La ciencia y la tecnología actuales permiten la manipulación de la materia átomo a átomo o molécula a molécula. Por ello, a través de este módulo se analizarán diferentes técnicas de fabricación de materiales nanoestructurados, correlacionando la técnica más apropiada en cada caso con el material que se desea manipular y la arquitectura y propiedades finales del nanodispositivo que se pretende fabricar.

Algunas de estas técnicas requieren de instrumentación científica altamente especializada. La Universidad de Zaragoza y los Institutos de Nanociencia (INA) y de Ciencia de los Materiales de Aragón (ICMA) ponen a disposición de los estudiantes del máster equipamiento de última generación lo que permitirá a los alumnos adquirir habilidades y destreza en el manejo de instrumentación de gran valor en el currículum de un profesional en disciplinas dentro del campo de la Nanociencia y la Nanotecnología.

#### **Al superar la asignatura, el estudiante será más competente para:**

1. Valorar cómo un exhaustivo control del orden a nivel atómico y molecular permite optimizar y potenciar las propiedades de los materiales.
2. Clasificar los métodos de fabricación de nanoestructuras, identificando el más apropiado, en cada caso, en función del material de partida y las propiedades finales buscadas.
3. Utilizar equipamiento específico para la preparación de materiales nanoestructurados.
4. Conocer y utilizar el vocabulario propio de esta disciplina, pudiendo valorar, enjuiciar, y contrastar con otros colegas los resultados obtenidos en los procesos de fabricación de nanoestructuras.
5. Diseñar un proceso de fabricación de un material nanoestructurado.

#### **Importancia de los resultados de aprendizaje que se obtienen en la asignatura:**

El primer paso en la fabricación de un nanodispositivo es la selección y el diseño de un método adecuado para el ensamblaje de los átomos o moléculas constituyentes del nanodispositivo. Por ello esta asignatura, que se imparte en paralelo a los módulos 1 (*Propiedades Fundamentales de los Materiales Nanoestructurados*) y 3 (*Ensamblaje y fabricación de Nanoestructuras*) se sitúa al comienzo del curso académico, para pasar más adelante a estudiar cómo se puede caracterizar el material nanoestructurado obtenido y valorar sus propiedades y potenciales aplicaciones en el mercado.

El módulo “*Fabricación de Materiales Nanoestructurados*” pretende concienciar al estudiante de la importancia de seleccionar adecuadamente la técnica o método de fabricación de nanoestructuras acorde al material de trabajo y las propiedades finales buscadas.

#### **Actividades de evaluación**

El estudiante deberá demostrar que ha alcanzado los resultados de aprendizaje previstos mediante las siguientes actividades de evaluación...

1. La evaluación de los 6 créditos ECTS teóricos se realizará por un lado mediante una prueba escrita (50% de la calificación de estos 6 créditos). En ella se valoran las competencias adquiridas por el estudiante en forma de conocimientos teóricos adquiridos relativos al ensamblaje y fabricación de nanoestructuras. El examen constará de
  - 1) cuestiones teóricas que incluirán: (i) tema/s a desarrollar y (ii) preguntas tipo “test” y
  - 2) resolución de problemas y ejercicios donde el alumno manifieste sus conocimientos sobre nanomateriales, nanoestructuras y técnicas nano-litográficas.
2. Participación del estudiante en las clases y seminarios, así como trabajos monográficos sobre temas incluidos en el módulo (50% de la calificación de los 6 créditos teóricos). Mediante estas pruebas se pretenden evaluar los resultados del aprendizaje alcanzados en relación a las competencias propias de este módulo como interpretación

de datos, destreza en la comunicación oral y escrita, interacción con compañeros y profesionales de otras disciplinas, etc.

3. Evaluación de los 2 créditos ECTS dedicados a los aspectos prácticos del módulo (25% de la calificación final de este módulo):

a.- Los profesores de prácticas evaluarán las habilidades y destrezas de los alumnos en el laboratorio (50%). En este punto se considerarán aspectos fundamentales como habilidades en manejo del instrumental, precisión a la hora realizar los experimentos, atención a los detalles, capacidad para resolver los problemas o dificultades no previstas que puedan presentarse, etc.

b.- Informes preparados por los estudiantes con los resultados obtenidos en el laboratorio y su interpretación (50%). Los profesores de los créditos prácticos de esta asignatura valorarán los informes entregados por los alumnos sobre sus resultados en el laboratorio y la interpretación de estos. Se atenderá especialmente a verificar que los estudiantes han adquirido las competencias propias de estas sesiones prácticas, es decir, verificar que los estudiantes han adquirido las competencias propias de estas sesiones prácticas, es decir, manejo de técnicas de fabricación de nanomateriales, reconocimiento de las dificultades experimentales en dichos procesos, evaluación de la problemática, riesgos y dificultades, interpretación de los resultados obtenidos, presentación profesional de los resultados adquiridos en el laboratorio y capacidad de comunicación escrita con un lenguaje preciso y propio de la temática que nos ocupa.

### **Presentación metodológica general**

El proceso de aprendizaje que se ha diseñado para esta asignatura se basa en lo siguiente:

Este módulo tiene como finalidad dar a conocer a los estudiantes métodos de fabricación de materiales nanoestructurados identificando las ventajas y limitaciones de cada técnica acordes al material de partida y las propiedades buscadas.

Por esta razón, tras un estudio general de estos métodos a través de clases magistrales participativas se pasará a una actividad de análisis de casos y problemas en los que pueden observarse, profundizarse, valorarse y matizarse esos principios.

Las clases se complementarán con prácticas de laboratorio donde los estudiantes podrán estudiar, observar y manejar la instrumentación propia para la fabricación de materiales nanoestructurados.

Se terminarán de analizar casos prácticos con una actividad de elaboración de seminarios en la que el estudiante redactará una memoria sobre detalles más específicos no analizados previamente en clase sobre algún método de preparación y su importancia en el contexto científico, tecnológico, social y económico.

### **Actividades de aprendizaje programadas**

1. Cada capítulo de contenidos que integra el programa del módulo, será presentado, analizado, y discutido por el profesor a través de clases magistrales participativas durante 50 minutos. Los profesores proporcionarán a los estudiantes las notas, apuntes o resúmenes del contenido de la clase antes del comienzo de la misma así como la literatura recomendada para la profundización en dicho tema.

2. Discusión abierta de los conceptos básicos y su aplicación. Comparación con el desarrollo real. Resolución de problemas y casos prácticos. Todo ello se desarrollara igualmente en el contexto de clases participativas de 50 minutos.

3. Realización de trabajos individuales. Cada estudiante elaborará, convenientemente tutorizado por un profesor del módulo, una memoria de unas 20 páginas sobre alguna técnica de preparación de materiales nanoestructurados, profundizando en aspectos más especializados, que no hayan sido analizados previamente en clase. Además, los estudiantes presentarán ante sus compañeros y los profesores del módulo este trabajo mediante una exposición oral de unos 20 minutos.

4. Realización de cuatro prácticas de laboratorio mediante las cuales el alumno se enfrentará a problemas reales sobre la preparación de materiales nanoestructurados. Gracias al trabajo con los compañeros de los grupos de prácticas que se organizarán, el estudiante desarrollará habilidades sobre cómo trabajar en grupo, y a través de los informes de prácticas se irá acostumbrando a una presentación profesional de su trabajo, aprendiendo a comunicar sus resultados en la lengua franca de la comunidad investigadora académica e industrial, el inglés.

### **Planificación y calendario**

Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos:

Este calendario se hará público al comienzo de cada curso académico a través de la página web del máster: [www.unizar.es/nanomat](http://www.unizar.es/nanomat)

### **Recomendaciones para cursar esta asignatura**

El módulo “*Preparación de Materiales Nanoestructurados*” es obligatorio y consta de 8 créditos ECTS o 200 horas de trabajo del estudiante. De estos 8 créditos, 6 son teóricos y 2 son créditos correspondientes a prácticas de laboratorio. Se imparte en el primer cuatrimestre del curso académico. Al igual que el resto de los módulos del máster la impartición y evaluación de este módulo será íntegramente en inglés.

El objetivo de este módulo es dar a conocer al estudiante las distintas técnicas químicas y físicas de preparación de materiales nanoestructurados.

Se trata de un módulo eminentemente práctico donde los estudiantes analizarán, discutirán y valorarán diferentes métodos de fabricación de materiales nanoestructurados en los que las clases teóricas se verán acompañadas y complementadas por cuatro prácticas a través de las cuales podrán observar en primera línea de laboratorio las dificultades y las ventajas de diferentes métodos de preparación de estos materiales, teniendo acceso a equipamiento altamente especializado que podrán manejar, bajo supervisión del profesorado, dado el bajo número de estudiantes por grupo (3-4 alumnos).

Dado que toda la titulación se imparte en inglés, los estudiantes deberán tener un nivel medio-alto de este idioma.

#### **Actividades y fechas clave de la asignatura**

El inicio de las clases de este módulo se corresponderá con el comienzo del curso académico y se extenderá durante, aproximadamente, tres meses.

El horario de las clases y de las prácticas de laboratorio será en sesiones de tarde y el calendario de las mismas así como las fechas de examen se harán públicas antes del comienzo de cada curso académico en la página web del máster: [www.unizar.es/nanomat](http://www.unizar.es/nanomat)

### **3. Ensamblaje y Fabricación de Nanoestructuras (assembly and fabrication of nanostructures) (8.00 ECTS, semestral)**

#### **Resultados de aprendizaje que definen la asignatura**

La superación de esta asignatura supone que el estudiante ha alcanzado ya los siguientes resultados:

1. Identificar claramente los diferentes tipos de nanoestructuras (0D, 1D, 2D y 3D) y los métodos químicos y físicos disponibles para su fabricación.
2. Reconocer las distintas arquitecturas supramoleculares y macromoleculares, su importancia en química y las potenciales aplicaciones de éstas en diversos campos de la Nanotecnología, proponiendo diseños estructurales racionales y herramientas de síntesis química efectivas para la fabricación y el ensamblaje de estructuras funcionales.
3. Planificar, diseñar y llevar a cabo experimentos con vistas a la fabricación de nanomateriales, evaluando la problemática, los riesgos, y los resultados.

#### **Breve presentación de la asignatura**

Como continuación del módulo anterior, en este, se introducirán los conceptos básicos en química necesarios para comprender los procesos de autoensamblaje y autoorganización molecular que permitirán a los estudiantes hacer un uso práctico de la química en beneficio de la fabricación de estructuras de interés en Nanociencia y Nanotecnología.

Una breve descripción de los contenidos de esta asignatura incluye:

Nanomateriales, nanoestructuras y su fabricación: nanopartículas, puntos cuánticos, nanotubos, nanohilos, nanoláminas, nanocomposites, polímeros, dendrímeros y liposomas. Autoensamblado jerárquico y autoorganización molecular: nanoestructuras supramoleculares, crecimiento por autoensamblaje bioquímico, etc. Quiralidad en superficies. Funcionalización de nanoestructuras. Capas inorgánicas.

Las clases teóricas serán complementadas por la realización de seis sesiones prácticas que incluyen:

- 1.- Síntesis de Nanotubos
- 2.- Síntesis de nanopartículas magnéticas en disolución
- 3.- Crecimiento de capas
- 4.- Ensamblaje en la fabricación de nanoestructuras
- 5.- Preparación de agregados micelares de copolímeros en bloque
- 6.- Química Supramolecular; fases anisotrópicas autoensambladas: cristales líquidos.

#### **Sentido, contexto, relevancia y objetivos generales de la asignatura**

La asignatura y sus resultados previstos responden a los siguientes planteamientos y objetivos:

A través de este módulo se pretende que los estudiantes se concienencien de la importancia del orden a nivel atómico y a nivel molecular, y como ese ordenamiento puede llegar a determinar las propiedades de un material nanoestructurado, que pueden ser bien diferentes a la que tiene ese mismo compuesto en una estructura

tridimensional sin orden preferencial. Es precisamente en ese orden que, de forma natural o impuesta a través de diferentes técnicas de ensamblaje, interacciones intermoleculares dirigidas, estrategias de la química ‘click’, polimerizaciones controladas, funcionalización química de nano-objetos, etc., pueden lograrse a escala nanoscópica propiedades que condicionarán las posibles aplicaciones y utilidades de esos materiales que se irán analizando en módulos posteriores del máster. Por todo ello, es fundamental que los estudiantes de esta titulación conozcan y sepan aplicar los procesos químicos y físicos que pueden conducir a dichos ordenamientos.

### **Contexto y sentido de la asignatura en la titulación**

Este módulo, conjuntamente con el módulo “*Fabricación de Materiales Nanoestructurados*”, tiene como objetivo instruir al estudiante en los diferentes métodos disponibles para la obtención de materiales nanoestructurados, lo que supone el primer paso en la fabricación de nanodispositivos con propiedades de interés en campos tan diversos como la física, la química, la bioquímica o la medicina.

### **Al superar la asignatura, el estudiante será más competente para:**

1. Valorar cómo un exhaustivo control del orden a nivel atómico y molecular permite optimizar y potenciar las propiedades de los materiales.
2. Reconocer el potencial de la química en la fabricación de nanoestructuras autoensambladas, estructuras jerárquicas, quirales, etc.
3. Hacer uso de los conocimientos químicos y quimicofísicos necesarios para afrontar en aplicaciones reales el ensambaje y la fabricación de nanoestructuras funcionales.

### **Importancia de los resultados de aprendizaje que se obtienen en la asignatura:**

El primer paso en la fabricación de un nanodispositivo es la selección y el diseño de un método adecuado para el ensamblaje de los átomos o moléculas constituyentes del nanodispositivo. Por ello esta asignatura, que se imparte en paralelo a los módulos 1 (*Propiedades Fundamentales de los Materiales Nanoestructurados*) y 3 (*Ensamblaje y fabricación de Nanoestructuras*) se sitúa al comienzo del curso académico, para pasar más adelante a estudiar cómo se puede caracterizar el material nanoestructurado obtenido y valorar sus propiedades y potenciales aplicaciones en el mercado.

### **Actividades de evaluación**

El estudiante deberá demostrar que ha alcanzado los resultados de aprendizaje previstos mediante las siguientes actividades de evaluación...

1. La evaluación de los 6 créditos ECTS teóricos se realizará por un lado mediante una prueba escrita (50% de la calificación de estos 6 créditos). En ella se valoran las competencias adquiridas por el estudiante en forma de conocimientos teóricos adquiridos relativos al ensamblaje y fabricación de nanoestructuras. El examen constará de (1) cuestiones teóricas que incluirán: (i) tema/s a desarrollar y (ii) preguntas tipo “test” y (2) resolución de problemas y ejercicios donde el alumno manifieste sus conocimientos sobre nanomateriales, nanoestructuras y técnicas nano-litográficas. Este examen escrito constará de:

(1) Cuestiones teóricas que incluirán: (i) tema/s a desarrollar y (ii) preguntas tipo “test”.

(2) El examen también contará con una sección dedicada a la resolución de problemas y ejercicios donde se valorará la capacidad de tratamiento de los datos, evaluación de propiedades quimicofísicas, distinción entre la macro y la nanoescala, utilización de las unidades del SI apropiadas, etc.

2. Participación del estudiante en las clases y seminarios, así como trabajos monográficos sobre temas incluidos en el módulo (50% de la calificación de los 6 créditos teóricos). Mediante estas pruebas se pretenden evaluar los resultados del aprendizaje alcanzados en relación a las competencias propias de este módulo como interpretación de datos, destreza en la comunicación oral y escrita, interacción con compañeros y profesionales de otras disciplinas, etc.

3. Evaluación de los 2 créditos ECTS dedicados a los aspectos prácticos del módulo (25% de la calificación final de este módulo):

a.- Los profesores de prácticas evaluarán las habilidades y destrezas de los alumnos en el laboratorio (50%). En este punto se considerarán aspectos fundamentales como habilidades en manejo del instrumental, precisión a la hora realizar los experimentos, atención a los detalles, capacidad para resolver los problemas o dificultades no previstas que puedan presentarse, etc.

b.- Informes preparados por los estudiantes con los resultados obtenidos en el laboratorio y su interpretación (50%).

Los profesores de los créditos prácticos de esta asignatura valorarán los informes entregados por los alumnos sobre sus resultados en el laboratorio y la interpretación de estos. Se atenderá especialmente a verificar que los estudiantes han adquirido las competencias propias de estas sesiones prácticas, es decir, capacidad para fabricar en el laboratorio materiales nanoestructurados mediante procedimientos de autoensamblaje, dominio de las técnicas

para funcionalización de nanoestructuras y conocimiento de las técnicas nanolitográficas a las que tendrán acceso en las prácticas propias de este módulo. Asimismo, se valorará la capacidad de comunicación escrita del estudiante, manejo del lenguaje con el apropiado rigor científico, calidad y presentación de los informes.

### **Presentación metodológica general**

El proceso de aprendizaje que se ha diseñado para esta asignatura se basa en lo siguiente:

Este módulo tiene como finalidad dar a conocer a los estudiantes métodos de ensamblaje y fabricación de nanoestructuras identificando el papel relevante que la química juega en el ensamblaje molecular, química supramolecular, obtención de estructuras quirales y funcionalizadas, etc.

Tras un análisis general de estas posibilidades a través de clases magistrales participativas se pasará a una actividad de estudio de casos y problemas en los que pueden observarse, profundizarse, valorarse y matizarse esos principios. Las clases se complementarán con prácticas de laboratorio donde los estudiantes podrán aplicar los conocimientos teóricos adquiridos a la casos reales de fabricación de nanoestructuras.

Se terminarán de analizar casos prácticos con una actividad de elaboración de seminarios en la que el estudiante redactará una memoria sobre detalles más específicos no analizados previamente en clase sobre algún método de preparación y su importancia en el contexto científico, tecnológico, social y económico.

### **Actividades de aprendizaje programadas**

El programa que se ofrece al estudiante para ayudarle a lograr los resultados previstos comprende las siguientes actividades:

1. Cada capítulo de contenidos que integra el programa del módulo, será presentado, analizado, y discutido por el profesor a través de clases magistrales participativas durante 50 minutos. Los profesores proporcionarán a los estudiantes las notas, apuntes o resúmenes del contenido de la clase antes del comienzo de la misma así como la literatura recomendada para la profundización en dicho tema.
2. Discusión abierta de los conceptos básicos y su aplicación. Comparación con el desarrollo real. Resolución de problemas y casos prácticos. Todo ello se desarrollara igualmente en el contexto de clases participativas de 50 minutos.
3. Realización de trabajos individuales. Cada estudiante elaborará, convenientemente autorizado por un profesor del módulo, una memoria de unas 20 páginas sobre alguna estrategia en el ensamblaje y fabricación de nanoestructuras, profundizando en aspectos más especializados, que no hayan sido analizados previamente en clase. Además, los estudiantes presentarán ante sus compañeros y los profesores del módulo este trabajo mediante una exposición oral de unos 20 minutos.
4. Realización de seis prácticas de laboratorio mediante las cuales el alumno se enfrentará a problemas reales sobre la preparación de materiales nanoestructurados. Gracias al trabajo con los compañeros de los grupos de prácticas que se organizarán, el estudiante desarrollará habilidades sobre cómo trabajar en grupo, y a través de los informes de prácticas se irá acostumbrando a una presentación profesional de su trabajo, aprendiendo a comunicar sus resultados en inglés.

### **Planificación y calendario**

Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos:

Este calendario se hará público al comienzo de cada curso académico a través de la página web del máster:

[www.unizar.es/nanomat](http://www.unizar.es/nanomat)

### **Recomendaciones para cursar esta asignatura**

El módulo "*Ensamblaje y Fabricación de Nanoestructuras*" es obligatorio y consta de 8 créditos ECTS o 200 horas de trabajo del estudiante. De estos 8 créditos, 6 son teóricos y 2 son créditos correspondientes a prácticas de laboratorio. Se imparte en el primer cuatrimestre del curso académico. Al igual que el resto de los módulos del máster la impartición y evaluación de este módulo será íntegramente en inglés.

El objetivo de este módulo es dar a conocer al estudiante las distintas técnicas de ensamblaje y fabricación de Nanoestructuras.

Tiene un carácter eminentemente orientado y práctico donde los estudiantes analizarán, discutirán y valorarán diferentes métodos de ensamblaje y fabricación de Nanoestructuras en los que las clases teóricas se verán acompañadas y complementadas por seis sesiones prácticas a través de las cuales podrán observar en primera línea de laboratorio las dificultades y las ventajas de diferentes métodos de preparación de estos materiales, teniendo acceso a equipamiento altamente especializado que podrán manejar, bajo supervisión del profesorado, dado el bajo número de estudiantes por grupo (3-4 alumnos).

Dado que toda la titulación se imparte en inglés, los estudiantes deberán tener un nivel medio-alto de este idioma.

#### **Actividades y fechas clave de la asignatura**

El inicio de las clases de este módulo se corresponderá con el comienzo del curso académico y se extenderá durante, aproximadamente, tres meses.

El horario de las clases y de las prácticas de laboratorio será en sesiones de tarde y el calendario de las mismas así como las fechas de examen se harán públicas antes del comienzo de cada curso académico en la página web del máster: [www.unizar.es/nanomat](http://www.unizar.es/nanomat)

#### **4. Ejemplos de aplicaciones industriales (Case studies of industrial applications) (6.00 ECTS, semestral)**

##### **Resultados de aprendizaje que definen la asignatura**

La superación de esta asignatura supone que el estudiante ha alcanzado ya los siguientes resultados:

1. Identificar las características diferenciales que la aplicación de la escala nano puede conferir a determinados productos comerciales.
2. Identificar las dificultades que existen para llevar a la práctica comercial los avances logrados en el laboratorio.
3. Enumerar y describir productos del mercado (textil, automovilístico, farmacéutico, tecnológico, construcción, etc.) basados en materiales nanoestructurados.
4. Reconocer los factores de diseño en productos de alta tecnología, y las características que los convierten en productos de éxito comercial.

##### **Breve presentación de la asignatura**

En este módulo diferentes ponentes, representativos del mundo industrial, en facetas que abarcarán desde aplicaciones electrónicas a biomédicas, expondrán a los estudiantes cómo sus empresas hacen uso de nanomateriales para proporcionar un valor añadido a sus productos. Esto permitirá a nuestros alumnos concienciarse de las dificultades reales, científicas, económicas, sociales, de marketing, etc. que supone el lanzamiento de un nanodispositivo o una determinada aplicación de materiales nanoestructurados al mercado. Se añaden además otros temas de interés práctico, como “Patentes”, “Lanzamiento de empresas spin-off” o “Nanoseguridad”.

##### **Sentido, contexto, relevancia y objetivos generales de la asignatura**

La asignatura y sus resultados previstos responden a los siguientes planteamientos y objetivos:

A través de las charlas impartidas en este módulo los alumnos se familiarizarán con casos reales de aplicaciones prácticas y conocerán a expertos altamente especializados, lo que les permitirá concienciarse de las potenciales aplicaciones de la Nanotecnología y también de las dificultades de sacar un producto al mercado. Desarrollarán asimismo habilidades para comunicarse e interactuar con profesionales de distintas disciplinas y les permitirá conocer, de primera mano, a importantes empresas que pudieran estar interesadas en un futuro en contar con personal bien formado y altamente especializado en temas vinculados a la Nanociencia y la Nanotecnología.

##### **Contexto y sentido de la asignatura en la titulación:**

Esta asignatura se imparte en la segunda parte del curso donde los estudiantes ya tienen la base teórica necesaria para poder comprender, analizar, criticar, comparar y diferenciar las propiedades y el potencial de diferentes materiales nanoestructurados y sus aplicaciones. Se trata, por tanto, de que el alumno pueda aplicar los conocimientos adquiridos en asignaturas previas, comprender las posibilidades del mercado, las dificultades reales a la hora de sacar un producto al mismo, y le permita ampliar su visión de futuro, además de empezar a decantarse ya por un mayor grado de especialización, una vez haya explorado las diferentes aplicaciones de los nanomateriales.

##### **Al superar la asignatura, el estudiante será más competente para:**

1. Valorar la importancia del mercado de productos nanotecnológicos.
2. Apreciar el potencial de la Nanotecnología como disciplina horizontal capaz de integrarse en numerosos procesos de fabricación.
3. Apreciar el potencial de la Nanotecnología como disciplina horizontal capaz de integrarse en numerosos procesos de fabricación.
4. Reconocer las dificultades y los retos científicos, económicos, sociales, de marketing, etc. que supone el lanzamiento de un nanodispositivo o una determinada aplicación de materiales nanoestructurados al mercado.
5. Comunicarse e interactuar con profesionales de distintas disciplinas.

##### **Importancia de los resultados de aprendizaje que se obtienen en la asignatura:**

A través de este módulo los alumnos serán mucho más conscientes de la realidad de la disciplina que están estudiando. Así, se les proporcionará una descripción del mercado antes de la introducción de un producto nanotecnológico, identificación de la oportunidad, diseño de producto o proceso, implementación tecnológica y comercialización, es decir, observar como la ciencia y la industria han sido capaces de aplicar a problemas reales los conocimientos, las herramientas y los recursos que han estudiado en módulos previos. Es de esperar que el estudio de todos estos casos (se prevé la discusión de 10 casos de estudio en diversas áreas; industria farmacéutica, del automóvil, textil, cosmética, biotecnológica, fabricación de sensores) les permita a su vez plantearse nuevos retos y desarrollar ideas innovadoras.

### **Actividades de evaluación**

El estudiante deberá demostrar que ha alcanzado los resultados de aprendizaje previstos mediante las siguientes actividades de evaluación:

1. Se realizará una prueba escrita al final del período docente de esta asignatura (segundo semestre) en la que se valoran los conocimientos teóricos adquiridos y su aplicación a problemas de interés industrial en Nanociencia y/o Nanotecnología, acorde a los ejemplos concretos de aplicaciones industriales estudiadas.
2. Se planteará a cada estudiante un caso de estudio, con el que el alumno deberá presentar una memoria donde describa el proceso de implementación de ese producto en el mercado, evaluando las dificultades y limitaciones no sólo científicas sino también tecnológicas, económicas y sociales de la implantación, y la aportación de nuevas ideas.

### **Presentación metodológica general**

El proceso de aprendizaje que se ha diseñado para esta asignatura se basa en lo siguiente:

Dar a conocer a los estudiantes a través de ponencias invitadas de especialistas al más alto nivel en su campo casos reales de aplicación en el mercado de dispositivos nanotecnológicos. A través de un análisis crítico de estos casos de estudio los alumnos se percatarán de las ventajas, limitaciones y dificultades en la utilización de la nanotecnología en la industria química, farmacéutica, textil, automovilística, de la construcción, etc.

### **Actividades de aprendizaje programadas**

El programa que se ofrece al estudiante para ayudarle a lograr los resultados previstos comprende las siguientes actividades:

1. Ponencias invitadas describiendo casos reales de aplicación de la nanotecnología, cuya duración, en función de la temática, será de una a tres sesiones de 50 minutos cada una.  
Conferencias adicionales abordando aspectos prácticos necesarios para el lanzamiento de empresas y productos nanotecnológicos, como la propiedad intelectual, seguridad de procesos y productos y lanzamiento de empresas.
2. El coordinador del módulo se encargará de tutorizar y supervisar el “caso de estudio” sobre el que cada estudiante habrá de preparar una memoria.

### **Planificación y calendario**

Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos:

Este calendario se hará público al comienzo de cada curso académico a través de la página web del máster: [www.unizar.es/nanomat](http://www.unizar.es/nanomat)

### **Recomendaciones para cursar esta asignatura**

El módulo “*Ejemplos de Aplicaciones Industriales*” es obligatorio y consta de 6 créditos ECTS o 150 horas de trabajo del estudiante. Se imparte en el segundo cuatrimestre del curso académico. Al igual que el resto de los módulos del máster la impartición y evaluación de este módulo será íntegramente en inglés.

El objetivo de este módulo es que el estudiante analice y conozca como la Nanotecnología tiene una aplicación real en nuestras vidas diarias. Para conseguir este objetivo, diferentes ponentes del mundo industrial expondrán como sus empresas hacen uso de la Nanotecnología en sus líneas de producción y en sus productos finales.

Dado que toda la titulación se imparte en inglés, los estudiantes deberán tener un nivel medio-alto de este idioma.

### **Actividades y fechas clave de la asignatura**

Este módulo se cursa en el segundo cuatrimestre, después del módulo 5 y se imparte en paralelo a los módulos 6 y 8 por lo que la fecha estimada de comienzo es alrededor de mediados de marzo y se extenderá hasta finales de Mayo.

El horario de las clases y de las prácticas de laboratorio será en sesiones de tarde y el calendario de las mismas así como las fechas de examen se harán públicas antes del comienzo de cada curso académico en la página web del máster: [www.unizar.es/nanomat](http://www.unizar.es/nanomat)



**5. Individual project (bibliographic and experimental study) (6.00 ECTS)**

**6. Spanish language and culture**