

24-25

MÁSTER UNIVERSITARIO EN FÍSICA  
AVANZADA

# GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA



## MODELIZACIÓN Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS COMPLEJOS (MÁSTER FÍSICA AVANZADA)

CÓDIGO 21580065

UNED

**24-25****MODELIZACIÓN Y SIMULACIÓN DE  
SISTEMAS COMPLEJOS (MÁSTER FÍSICA  
AVANZADA)****CÓDIGO 21580065**

# ÍNDICE

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN  
REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA  
ASIGNATURA  
EQUIPO DOCENTE  
HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE  
COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE  
RESULTADOS DE APRENDIZAJE  
CONTENIDOS  
METODOLOGÍA  
SISTEMA DE EVALUACIÓN  
BIBLIOGRAFÍA BÁSICA  
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA  
RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA  
IGUALDAD DE GÉNERO

Nombre de la asignatura	MODELIZACIÓN Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS COMPLEJOS (MÁSTER FÍSICA AVANZADA)
Código	21580065
Curso académico	2024/2025
Título en que se imparte	MÁSTER UNIVERSITARIO EN FÍSICA AVANZADA
Tipo	CONTENIDOS
Nº ETCS	6
Horas	150
Periodo	SEMESTRE 1
Idiomas en que se imparte	CASTELLANO

## PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

La asignatura **Modelización y simulación de sistemas complejos**, enmarcada en el módulo "Física computacional", aborda de manera fundamentalmente práctica el estudio de una serie de técnicas de simulación habituales en el estudio de sistemas complejos, tanto clásicos como cuánticos. Muchas de esas técnicas tienen interés por sí mismas y, además, resultan ser pertinentes para el tratamiento de distintos problemas en otras asignaturas del Máster.

La asignatura es optativa, se imparte en el primer cuatrimestre, y consta de 6 ECTS, equivalentes a unas 150 horas de trabajo del estudiante. El enfoque de la asignatura es eminentemente práctico, por lo que las horas de trabajo se distribuyen a título orientativo de la siguiente manera:

- Trabajo con contenido teórico (lectura y consulta de los materiales, estudio de los contenidos teóricos): 40%
- Realización de las actividades prácticas y elaboración de los informes de resultados: 60%.

Aunque el objetivo básico es conocer y poner en práctica técnicas de simulación para la resolución numérica de algunos problemas teóricos, no en menor medida la asignatura quiere transmitir la relevancia que tienen la modelización computacional y las simulaciones numéricas para la resolución de problemas físicos cuya complejidad impide hacerlo mediante estudios analíticos.

Los conocimientos que aporta la asignatura ampliarán los que el estudiante pueda ya tener de sus estudios previos, potenciándolos para su aplicación y ayudando a mejorar la base conceptual y práctica. Por ello ha de ser de interés como formación transversal para la realización del trabajo Fin de Máster. Por ese motivo, la asignatura contribuye a facilitar la terminación del Máster, con el consiguiente beneficio en el desarrollo profesional de los estudiantes.

Es **necesario** que el estudiante **tenga suficiente conocimiento de algún lenguaje de programación científico** para que sea capaz de codificar los algoritmos y aplicar las técnicas que se estudian. Además, es recomendable que dicho lenguaje sea compilable para que resulte más útil al realizar simulaciones largas, que son necesarias en algunas de las Tareas prácticas que el estudiante debe realizar para ser evaluado en la asignatura.

## REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA

Para seguir el estudio de la asignatura con garantías de éxito son precisos conocimientos suficientes en algunas áreas de Matemáticas y Física, que se supone han sido adquiridos en asignaturas de la titulación de cada estudiante. En particular:

- 1.- Métodos Numéricos, Álgebra lineal y Análisis matemático (al nivel de estudios de algunos grados en Ciencias o Ingeniería).
- 2.- **Mecánica Cuántica** (o Química Cuántica en los grados o licenciaturas de Química y en algunas titulaciones de ingeniería) y **Física del Estado Sólido**. En ellas deben haberse estudiado conceptos como función de onda, ecuación de Schrödinger, interpretación probabilística, la importancia de la periodicidad cristalina, la estructura de bandas, etc.
- 3.- **Mecánica Estadística** (o sus variantes como Termodinámica Estadística o nombre similar).
- 4.- Es **necesario** que el estudiante tenga **conocimiento previo de algunos de los lenguajes de programación estándar en computación científica** (entre otros, Fortran, C,..., preferiblemente compilables) ya que debe escribir códigos y ejecutar programas para realizar las Tareas del curso. En algunos casos, se necesitarán tiempo de computación largos para poder realizar un buen análisis de los resultados.

En general, los conocimientos adquiridos en grados en Ciencias Físicas o Químicas deberían ser suficientes. Es probable, sin embargo, que algunos contenidos sean dificultosos para los estudiantes que provengan de estudios más técnicos, por lo que es conveniente que los adquieran antes o que tengan disponibilidad para hacerlo durante el estudio de la asignatura.

Recalamos que el estudiante ha de estar familiarizado con el uso de ordenadores, ya que buena parte del trabajo práctico de la asignatura está orientado a la ejecución de programas propios de cálculo de simulación. En esos trabajos prácticos se basa la evaluación de la asignatura. Por esa razón, es necesario que el alumno disponga de un ordenador para desarrollar la parte práctica de la asignatura y que además tenga buen conocimiento de algún lenguaje de programación para cálculo científico, para que sea capaz de codificar los algoritmos y aplicar las técnicas que aquí se estudian. Es recomendable que dicho lenguaje sea compilable para que resulte más útil al realizar simulaciones largas.

## EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos  
Correo Electrónico  
Teléfono  
Facultad  
Departamento

EVA MARIA FERNANDEZ SANCHEZ (Coordinador de asignatura)  
emfernandez@fisfun.uned.es  
91398-8863  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICA FUNDAMENTAL

Nombre y Apellidos  
Correo Electrónico  
Teléfono  
Facultad  
Departamento

JOSE ENRIQUE ALVARELLOS BERMEJO  
jealvar@fisfun.uned.es  
91398-7120  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICA FUNDAMENTAL

## HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

El medio básico de comunicación y tutorización entre estudiantes y equipo docente son las herramientas de comunicación del Curso virtual, especialmente los Foros de debate.

Además, podrán utilizarse el correo electrónico, el teléfono y la entrevista personal.

**Nota importante:** el equipo docente puede cambiar con posterioridad a la redacción de esta información. En todo caso, los profesores que constan en el apartado "Equipo docente" están actualizados.

Profesora: Eva M. Fernández Sánchez (coordinadora)

E-mail: emfernandez@fisfun.uned.es

Teléfono: 91 398 8863

Horario: Miércoles, de 11:00 a 13:00 y de 15:00 a 17:00

Edificio Biblioteca UNED, planta 1 (Mediateca).

Paseo Senda del Rey 5. 28040 Madrid, España.

Profesor: José E. Alvarellos

E-mail: jealvar@fisfun.uned.es

Teléfono: 91 398 7120

Horario: Miércoles, de 12:00 a 14:00 y de 16:00 a 18:00

Edificio Biblioteca UNED, planta 1 (Mediateca).

Paseo Senda del Rey 5. 28040 Madrid, España.

## COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE

### COMPETENCIAS

CM1 Poseer la capacidad para el desarrollo de una aptitud crítica ante el aprendizaje que le lleve a plantearse nuevos problemas desde perspectivas no convencionales.

CM2 Adquirir los conocimientos necesarios en Física Avanzada para incorporarse a un grupo de investigación o a empresas.

CM3 Adquirir la capacidad para abordar y resolver un problema avanzado en la física teórica, computacional o de fluidos, mediante la elección adecuada del contexto teórico, la identificación de los conceptos relevantes y el uso de las técnicas matemáticas que constituyen la mejor aproximación para así llegar a la solución.

CM4 Analizar una situación compleja extrayendo cuales son las cantidades físicas relevantes y ser capaz de reducirla a un modelo parametrizado.

CM5 Analizar problemas nuevos en sistemas poco conocidos y determinar similitudes y diferencias con modelos de referencia.

CM6 Analizar críticamente resultados experimentales, analíticos y numéricos en el campo de

la física avanzada.

## RESULTADOS DE APRENDIZAJE

### CONOCIMIENTOS O CONTENIDOS

CN1 Comprender conceptos avanzados de Física y demostrar, en un contexto de investigación científica altamente especializada, una relación detallada y fundamentada entre los aspectos teóricos y prácticos y la metodología empleada en este campo.

CN2 Conocer y comprender los elementos más relevantes de la física teórica, computacional y de fluidos actual. Profundizar en la comprensión de las teorías que se encuentran en la frontera de estos temas, incluyendo su estructura matemática, su confrontación con resultados experimentales, y la descripción de los fenómenos físicos que dichas teorías explican.

CN3 Conocer los sistemas operativos y lenguajes de programación y herramientas de computación relevantes en el campo de la física avanzada.

CN4 Comprender las propiedades cualitativas de las soluciones a las ecuaciones de la física (sus tipos, estabilidad, singularidades, etc.) y su dependencia de los parámetros que definen un sistema físico.

### HABILIDADES O DESTREZAS

H1 Elaborar un trabajo escrito con datos bibliográficos, teóricos y/o experimentales, escribiendo un resumen o articulado en extenso (tal y como se realizan los artículos científicos), formulando hipótesis razonables, composiciones originales y conclusiones motivadas.

H3 Utilizar bibliografía y fuentes de información especializada, propias del ámbito de conocimiento de la física, manejando las principales bases de datos de recursos científicos.

H4 Saber trabajar en equipo y comunicarse con la comunidad académica en su conjunto y con la sociedad en general acerca de la Física Avanzada, tanto en sus implicaciones académicas, productivas o sociales.

H5 Modelizar sistemas de alto grado de complejidad. Identificar variables y parámetros relevantes y realizar aproximaciones que simplifiquen el problema. Construir modelos físicos que describan y expliquen situaciones en ámbitos diversos.

H7 Resolver problemas algebraicos, de resolución de ecuaciones y de optimización mediante métodos numéricos.

H8 Modelar y simular fenómenos físicos complejos por ordenador.

### COMPETENCIAS

CM1 Poseer la capacidad para el desarrollo de una aptitud crítica ante el aprendizaje que le lleve a plantearse nuevos problemas desde perspectivas no convencionales.

CM2 Adquirir los conocimientos necesarios en Física Avanzada para incorporarse a un grupo de investigación o a empresas.

CM3 Adquirir la capacidad para abordar y resolver un problema avanzado en la física teórica, computacional o de fluidos, mediante la elección adecuada del contexto teórico, la

identificación de los conceptos relevantes y el uso de las técnicas matemáticas que constituyen la mejor aproximación para así llegar a la solución.

CM4 Analizar una situación compleja extrayendo cuales son las cantidades físicas relevantes y ser capaz de reducirla a un modelo parametrizado.

CM5 Analizar problemas nuevos en sistemas poco conocidos y determinar similitudes y diferencias con modelos de referencia.

CM6 Analizar críticamente resultados experimentales, analíticos y numéricos en el campo de la física avanzada.

## CONTENIDOS

### Tema I. Introducción general a la asignatura

**Nota importante:** La asignatura *Modelización y simulación de sistemas complejos* aborda de manera fundamentalmente práctica el estudio de una serie de técnicas que son adecuadas para simular problemas físicos.

Para abordar la asignatura con garantías es preciso tener conocimientos previos suficientes en Matemáticas y Física. En general, los conocimientos adquiridos en grados o licenciaturas en Ciencias Físicas o Químicas deberían ser suficientes; sin embargo, es posible que algunos contenidos sean dificultosos para los estudiantes que provengan de estudios más técnicos.

En particular, deben tenerse conocimientos de Métodos Numéricos, álgebra lineal y análisis matemático, **Mecánica Cuántica** básica (o Química Cuántica en las licenciaturas de Química y en algunas titulaciones de ingeniería), **Mecánica Estadística** (o sus variantes como Termodinámica Estadística o nombre similar) y **Física del Estado Sólido**.

Los estudiantes deben saber que hay contenidos importantes del tema 3 (en particular, Física Cuántica y Física del Estado Sólido) sobre los que deben ponerse al día cuanto antes si les fuese necesario.

Finalmente, el estudiante ha de estar familiarizado con el uso de ordenadores, ya que buena parte del trabajo de la asignatura está orientado a la ejecución de programas de cálculo. Por esa razón, es también importante que el alumno disponga de un ordenador para el desarrollo de la parte práctica de la asignatura. Además, **es necesario que el estudiante tenga suficiente conocimiento previo de algunos de los lenguajes de programación estándar en computación científica** (Fortran, C,...; siendo deseable que el lenguaje se pueda compilar) ya que debe desarrollar por sí mismo (y utilizará) códigos de cálculo para resolver problemas relacionados con los contenidos del curso.

-----  
Dado que en la Física solo es posible encontrar soluciones analíticas a los problemas en unas muy pocas ocasiones, es necesario utilizar una aproximación numérica para ser



capaces de obtener resultados de interés. En este tema se presenta un breve esquema de las principales ideas que subyacen a un curso de Física Computacional, de la que esta asignatura es una introducción.

## Tema II. Algoritmos Montecarlo

Dentro del campo de los sistemas estocásticos clásicos, en este tema se aborda el estudio de los métodos de tipo Montecarlo, basados en el uso de los números aleatorios, que permiten el cálculo de promedios de magnitudes físicas en sistemas de muchas partículas. Por otra parte, se propone también el uso de estos métodos para la evaluación de integrales numéricas.

## Tema III: Física Cuántica Computacional

En esta parte del curso abordamos el problema de la resolución de la ecuación de Schrödinger para sistemas electrónicos. Se comienza con un repaso de aquellos conceptos de Mecánica Cuántica que el estudiante debe conocer. En el capítulo se repasan los conceptos de base de representación, matrices asociadas a operadores y se introducen algunas técnicas de diagonalización que permiten obtener la solución de la ecuación de Schrödinger para diferentes problemas. Seguidamente, se introduce a los alumnos en los denominados métodos autoconsistentes (o métodos SCF) de resolución de la ecuación de Schrödinger. Se presentan los métodos fundamentales: la aproximación de Hartree-Fock y los métodos basados en el uso del funcional de la densidad (métodos DFT). Para la simulación de la dinámica de grupos de átomos (o moléculas) que interactúan entre sí se introducen los métodos de dinámica cuántica molecular, en los que se hace uso del formalismo cuántico. Se introducirán los conceptos y teoremas que permiten abordar este problema usando la aproximación de Born-Oppenheimer y la dependencia temporal en la ecuación de Schrödinger. Finalmente se aborda la solución de la ecuación de Schrödinger en sólidos periódicos. En esta parte se verá cómo el problema de, en un principio, un número infinito de electrones puede reformularse en términos de un número mucho menor de electrones: los electrones de la celda unidad.

## METODOLOGÍA

La metodología de la asignatura está basada en la enseñanza a distancia, donde tiene gran importancia el aprendizaje autónomo. La docencia se impartirá a través de un curso virtual dentro de la plataforma virtual de la UNED, en el que los estudiantes dispondrán de:

### **(a) Información y Materiales:**

Comentarios sobre los distintos temas del programa, así como materiales de apoyo (material complementario, material específico para alguno de los temas del programa, ejemplos prácticos, etc.).



**(b) Herramientas de comunicación:**

Foros de consulta y debate, para preguntas e intercambio de conocimientos, dudas, etc., y plataforma de entrega de informes de las Tareas prácticas.

**(c)** En el curso se propondrán las **Tareas** o actividades prácticas que los estudiantes deberán realizar a lo largo del curso. Esta parte práctica de la asignatura es esencial, y está centrada en la programación (o la utilización) de códigos de simulación usando un lenguaje de programación científico. En estas tareas se aplicarán los conocimientos teóricos que se han adquirido a problemas específicos. **En algunas Tareas tendrá un peso importante la programación por parte del estudiante del código de cálculo que debe computar el ordenador** (véase el apartado sobre la Evaluación).

## SISTEMA DE EVALUACIÓN

### TIPO DE PRUEBA PRESENCIAL

Tipo de examen No hay prueba presencial

### CARACTERÍSTICAS DE LA PRUEBA PRESENCIAL Y/O LOS TRABAJOS

Requiere Presencialidad No

#### Descripción

La evaluación de la asignatura se realizará a partir de la realización individual de cinco Tareas prácticas obligatorias y de las memorias presentada sobre ellas. En las tareas el estudiante, entre otras cosas, desarrollará por sí mismo (o utilizará) códigos de cálculo para resolver problemas relacionados con los contenidos del curso. Por ese motivo, es necesario que el estudiante conozca bien algún lenguaje de programación científico. Las Tareas y los plazos de entrega se anunciarán en el Curso Virtual.

**El estudiante, por tanto, ha de estar suficientemente familiarizado con el uso de ordenadores y la programación en un lenguaje científico de cálculo, ya que parte relevante de las Tareas mencionadas se basan en el diseño, programación y ejecución de programas de cálculo (en algunos casos, alguno de ellos se aporta por el equipo docente).**

**Uno de los objetivos principales de las Tareas es que el estudiante muestre cierta independencia, dado el enfoque académico investigador del máster. Por ese motivo, deben los estudiantes prestar atención a los aspectos más originales, y analizar aquellos puntos que más les sorprenda en cada Tarea.**

**Finalmente, se valorará muy positivamente la participación activa del estudiante en los foros de discusión del curso virtual.**

#### Criterios de evaluación

Las Tareas se plantean de manera muy abierta, por lo que el estudiante debe mostrar independencia, dado que está cursando un máster a distancia con un enfoque académico investigador. Por ese motivo, se valorarán los aspectos más originales del trabajo realizado (no se van a calificar las tareas como si fuesen problemas o exámenes cerrados). Especialmente, se quiere motivar a los estudiantes a que lleven a cabo desarrollos propios o análisis de aquellos puntos que les han llamado la atención en cada Tarea y que presenten conclusiones claras de su trabajo.

**La calificación se determinará a partir de la ejecución de estas Tareas y la presentación de sus correspondientes informes, que han de incluir una discusión detallada y crítica del trabajo realizado. Como guía general, en esas memorias se debe explicar el trabajo que se ha realizado, justificándolo debidamente, y no limitarse a describir meramente los pasos que se han ido haciendo.**

**Se requerirá una calificación mínima en cada trabajo. Si todos los trabajos superan esta calificación mínima, la calificación final será la media ponderada de las calificaciones individuales (véase la ponderación en el apartado *¿cómo se obtiene la calificación final?*).**

**Se valorará también muy positivamente la participación activa del estudiante en los foros de discusión del curso virtual.**

Ponderación de la prueba presencial y/o los trabajos en la nota final

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones

Las Tareas tendrán las siguientes fechas aproximadas de entrega:

**Tarea 1: 15 de noviembre**

**Tarea 2: 15 de diciembre**

**Tarea 3: 10 de enero**

**Tarea 4: 30 de enero**

**Tarea 5: 14 de febrero**

Los estudiantes que por alguna circunstancia no puedan seguir el calendario ordinario podrán entrar en la convocatoria de septiembre. Las fechas aproximadas serán: entrega de una parte de los trabajos antes del 25 de julio; y el resto antes del 20 de septiembre. El número concreto de trabajos a entregar en cada fecha y los plazos exactos de entrega se anunciarán en el Curso Virtual.

#### **PRUEBAS DE EVALUACIÓN CONTINUA (PEC)**

¿Hay PEC?

No

Descripción

Criterios de evaluación

Ponderación de la PEC en la nota final

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones

**OTRAS ACTIVIDADES EVALUABLES**

¿Hay otra/s actividad/es evaluable/s? No

Descripción

Criterios de evaluación

Ponderación en la nota final

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones

**¿CÓMO SE OBTIENE LA NOTA FINAL?**

La calificación se determinará a partir de la ejecución de estas Tareas y la presentación de sus correspondientes informes, que han de incluir una discusión detallada y crítica del trabajo realizado. Como guía general, en esas memorias se debe explicar el trabajo que se ha realizado, justificándolo debidamente, y no limitarse a describir paso a paso lo que se ha ido haciendo.

**Se requerirá una calificación mínima en cada trabajo. Si todos los trabajos superan esta calificación mínima, la calificación final será la media ponderada de las calificaciones individuales (véase la ponderación más abajo).**

**Se valorará también muy positivamente la participación activa del estudiante en los foros de discusión del curso virtual.**

**Tarea 1: 15%**

**Tarea 2: 40%**

**Tarea 3: 20%**

**Tarea 4: 10%**

**Tarea 5: 15%**

**BIBLIOGRAFÍA BÁSICA**

El texto básico para preparar la asignatura es

**J. M. Thijssen “Computational Physics”**, second edition, Cambridge University Press, 2007.

que cubre prácticamente todo el contenido del curso. Esta segunda edición está publicada en rústica (ISBN 978-1107677135).

**Nota importante;** en el curso virtual se pondrá también a disposición de los estudiantes material adicional para el estudio de algunos temas de la asignatura.

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Para el apartado sobre las **técnicas de diagonalización** se pueden consultar textos de Métodos numéricos, entre ellos los dos textos siguientes:

- **J. D. Faires y R. Burden: "Métodos Numéricos"** (3ª edición), Thomson Editores, España, 2004. (Alternativamente puede utilizarse el texto *Análisis Numérico*, de los mismos autores, editado por Thomson Internacional en México. Las diferencias con el anterior son mínimas).
- **C. F. Gerald y P. O. Wheatley: "Análisis Numérico con Aplicaciones"** (Sexta edición), Prentice Hall, Pearson Education, México, 2000

Sobre las **técnicas Monte Carlo** una referencia muy completa es:

- **D. P. Landau y K. Binder. "A guide to Monte Carlo Simulations in Statistical Physics"** , Cambridge University Press (2000, última edición, 2009).

Una revisión general muy citada (y a veces, criticada) sobre **métodos numéricos** es

- **Press , Teukolsky , Vetterling , Flannery "Numerical Recipes: the art of scientific computing"** 3rd edition, Cambridge University Press, 2007.

Debe hacerse notar este texto no es un texto de Física computacional o de simulación en general.

## RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

Todos los recursos de apoyo al estudio están disponibles en el Curso virtual.

Entre ellos:

- 1.- El material de apoyo para el desarrollo de la asignatura.
- 2.- Material para entender mejor la aplicación de los conceptos teóricos a las simulaciones que se realizarán en las Tareas del curso.
- 3.- Guiones detallados de las Tareas (trabajos prácticos) que debe llevar a cabo cada estudiante, así como la información básica para la utilización de los recursos informáticos necesarios para la realización de las mismas.
- 4.- Herramientas de comunicación del Curso virtual: foros de consulta y debate, y plataforma de entrega de los informes de las Tareas. Los estudiantes han de usar los Foros para las dudas o comentarios sobre los contenidos y las Tareas del curso; se valorará muy positivamente la participación activa en dichos foros.

## IGUALDAD DE GÉNERO

En coherencia con el valor asumido de la igualdad de género, todas las denominaciones que en esta Guía hacen referencia a órganos de gobierno unipersonales, de representación, o miembros de la comunidad universitaria y se efectúan en género masculino, cuando no se hayan sustituido por términos genéricos, se entenderán hechas indistintamente en género femenino o masculino, según el sexo del titular que los desempeñe.