

22-23

MÁSTER UNIVERSITARIO EN FÍSICA DE  
SISTEMAS COMPLEJOS

# GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA



## INESTABILIDADES Y TURBULENCIA

CÓDIGO 2115605-

UNED

# 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                              |  |

|                           |                                                      |
|---------------------------|------------------------------------------------------|
| Nombre de la asignatura   | INESTABILIDADES Y TURBULENCIA                        |
| Código                    | 2115605-                                             |
| Curso académico           | 2022/2023                                            |
| Título en que se imparte  | MÁSTER UNIVERSITARIO EN FÍSICA DE SISTEMAS COMPLEJOS |
| Tipo                      | CONTENIDOS                                           |
| Nº ETCS                   | 6                                                    |
| Horas                     | 150.0                                                |
| Periodo                   | SEMESTRE 2                                           |
| Idiomas en que se imparte | CASTELLANO                                           |

## PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

La asignatura de Inestabilidades y Turbulencia es una asignatura optativa impartida en el segundo semestre del Máster en Física Avanzada. Esta asignatura se encuadra dentro de la especialidad de Física de Fluidos ofertada en el Máster, tiene 6 créditos ECTS (25h/crédito) y no incluye prácticas de laboratorio.

La mecánica de fluidos es una de las teorías de campos fundamentales de la física, con innumerables aplicaciones tecnológicas en el mundo de la ingeniería, la medicina, así como en las ciencias de la tierra (dinámica atmosférica, geodinámica, etc.). Por otra parte, debido al carácter no lineal de las ecuaciones que describen la mecánica de los fluidos, las ecuaciones de Navier-Stokes, esta materia es también de gran interés en matemáticas fundamentales, donde el estudio de las propiedades de las ecuaciones de Navier-Stokes constituye un activo campo de investigación. De hecho, las ecuaciones de Navier-Stokes conforma uno de los *7 Millennium Prize Problems*, para los que el *Clay Mathematics Institute* ofrece un premio de \$1M a quien logre un avance significativo en el conocimiento de cualquiera de estas materias (<https://www.claymath.org>).

Desde el punto de vista matemático la gran dificultad de la ecuaciones de Navier-Stokes es consecuencia de su carácter no lineal, y del número de variables independientes (3 espaciales más 1 temporal), lo cual impide que sea posible resolver estas ecuaciones de manera exacta, y también hace que el espacio de sus soluciones tenga una enorme complejidad. El término no lineal de las ecs. de NS es también responsable de las inestabilidades hidrodinámicas que producen la *transición a la turbulencia* cuando se supera un cierto número de Reynolds crítico (generalmente elevado), cuyo valor concreto depende de la geometría.

Esta asignatura está estructurada en dos partes. En la parte de inestabilidades estudiaremos las técnicas de análisis de inestabilidades empleadas habitualmente en fluidos, y las ilustraremos con los ejemplos más representativos de inestabilidades hidrodinámicas. En la segunda parte abordaremos el estudio de los flujos turbulentos, centrándonos en las propiedades de las ecuaciones de Navier-Stokes en el límite de Reynolds elevados, la descripción estadística de flujos turbulentos, y la teoría de Kolmogorov para la turbulencia homogénea isótropa totalmente desarrollada.

## REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA

Como es habitual en cualquier campo científico avanzado, en la actualidad la bibliografía sobre inestabilidades hidrodinámicas y flujos turbulentos está escrita en lengua inglesa, de manera que es fundamental contar con un buen nivel en lectura y comprensión de textos científicos en inglés.

Las ecuaciones de Navier-Stokes son un sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales. Dado que esta asignatura versa sobre propiedades de algunas soluciones de este sistema de ecuaciones, para cursar esta asignatura es fundamental contar con conocimientos sobre ecuaciones diferenciales, tanto en derivadas parciales como ordinarias, así como algunos temas de análisis funcional (principalmente análisis de Fourier). Estos temas se estudian (p. ej.) en las asignaturas de Métodos Matemáticos del Grado en Física. El estudio de las inestabilidades hidrodinámicas y las propiedades de los flujos turbulentos son temas avanzados dentro de la materia de mecánica de fluidos, por tanto, **para cursar esta asignatura es fundamental contar con conocimientos generales sobre dinámica fluidos, como los que se obtienen (p. ej.) en la asignatura de Física de Fluidos del Grado en Física.**

## EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos  
Correo Electrónico  
Teléfono  
Facultad  
Departamento

EMILIA CRESPO DEL ARCO (Coordinador de asignatura)  
emi@fisfun.uned.es  
91398-7123  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICA FUNDAMENTAL

Nombre y Apellidos  
Correo Electrónico  
Teléfono  
Facultad  
Departamento

MANUEL ARIAS ZUGASTI  
maz@ccia.uned.es  
91398-7127  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICA MATEMÁTICA Y DE FLUIDOS

Nombre y Apellidos  
Correo Electrónico  
Teléfono  
Facultad  
Departamento

JESUS SANCHEZ RODRIGUEZ  
jesanrod@fisfun.uned.es  
91398-7136  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICA FUNDAMENTAL

## HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

Las labores de autorización y seguimiento se harán principalmente a través de las herramientas de comunicación del Curso virtual (Correo y Foros de debate). Por otra parte, los estudiantes podrán siempre entrar en contacto con la profesora de la asignatura por medio de correo electrónico, teléfono o entrevista telemática:

Dra. Emilia Crespo del Arco  
e-mail: emi@fisfun.uned.es

Teléfono: 91 398 7123

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

Dr. Manuel Arias Zugasti

e-mail: maz@dfmf.uned.es

Teléfono: 91 398 7127

Horario: Lunes de 16 a 20 h

## COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE

### COMPETENCIAS BÁSICAS

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 auto dirigido o autónomo.

### COMPETENCIAS GENERALES

CG01 - Adquirir capacidad de análisis y síntesis.

CG02 - Adquirir capacidad de organización y planificación.

CG03 - Adquirir conocimientos de informática relativos al ámbito de estudio

CG04 - Adquirir capacidad de gestión de información

CG05 - Adquirir capacidad para resolución de problemas

CG08 - Adquirir razonamiento crítico

CG09 - Adquirir compromiso ético

CG10 - Adquirir capacidad de aprendizaje autónomo

CG11 - Adquirir capacidad de adaptación a nuevas situaciones

CG14 - Adquirir sensibilidad hacia temas medioambientales

### COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

CE01 - Saber utilizar y relacionar los diferentes tipos de descripción (microscópica, mesoscópica y macroscópica) de los fenómenos físicos

CE03 - Comprender el papel del ruido y las fluctuaciones en los fenómenos físicos y manejar su modelización matemática

CE04 - Comprender y saber relacionar matemáticamente las propiedades macroscópicas de

un sistema con las interacciones y la geometría de los elementos microscópicos del mismo

CE05 - Capacidad de análisis de problemas nuevos en sistemas poco conocidos y determinar similitudes y diferencias con modelos de referencia

CE06 - Capacidad de formular modelos matemáticos en términos de ecuaciones diferenciales (ordinarias o en derivadas parciales)

CE07 - Saber construir modelos numéricos para fenómenos descritos por ecuaciones diferenciales (ordinarias o en derivadas parciales) con diferentes condiciones iniciales o de contorno

CE08 - Capacidad de realizar análisis críticos de resultados experimentales, analíticos y numéricos

CE09 - Capacidad de búsqueda de bibliografía y fuentes de información especializadas. Manejo de las principales bases de datos de bibliografía científica y de patentes

CE10 - Conocimiento avanzado del estado actual y la evolución de un campo de investigación concreto

## RESULTADOS DE APRENDIZAJE

- Capacidad para entender, plantear mediante ecuaciones y abordar la resolución de problemas de interés en física de fluidos.
- Conocer los distintos criterios de estabilidad hidrodinámica.
- Resolución de problemas de análisis de estabilidad lineal.
- Entender los conceptos y los procesos físicos relevantes en flujos turbulentos.
- Conocer distintas inestabilidades que se presentan en Física de Fluidos (Kelvin-Helmholtz, Taylor Couette, de capa límite)
- Extensión de conceptos de estabilidad en EDO para el tratamiento de EDP.
- Seleccionar críticamente las técnicas numéricas más adecuadas para un problema físico concreto.
- Analizar críticamente los resultados numéricos obtenidos con la computación del modelo y comparar dichos datos con los datos experimentales y analíticos o con los de otros modelos o aproximaciones existentes.
- Conocer las propiedades de las ecuaciones de NS en el límite de  $Re$  altos
- Conocer los métodos estadísticos empleados para la descripción de flujos turbulentos
- Conocer la teoría de Kolmogorov para la turbulencia isotrópica totalmente desarrollada

## CONTENIDOS

### Tema 1.

Introducción al análisis de estabilidad hidrodinámica.

## Tema 2.

Ondas

## Tema 3.

Inestabilidades en fluidos

## Tema 4.

Simetrías y leyes de conservación en flujos a Reynolds altos

## Tema 5.

Descripción estadística de flujos turbulentos

## Tema 6.

Teoría de Kolmogorov

## METODOLOGÍA

La docencia se impartirá principalmente a través de un curso virtual dentro de la plataforma educativa de la UNED. Dentro del **curso virtual** los estudiantes dispondrán de:

**1. Página de bienvenida**, donde se indica el concepto general de cada una de las asignaturas que componen el módulo y se presentan a los docentes.

**2. Materiales:**

- *Guía del curso*, donde se establecen los objetivos concretos y los puntos de interés.
- *Programa*, donde se especifica la división del contenido por capítulos.
- *Recursos*, donde se proporciona el material necesario para el estudio, incluyendo referencias a artículos fundamentales en el desarrollo de la disciplina.

**3. Herramientas de comunicación:**

- *Correo*, para la consulta personal de cuestiones particulares del alumno.
- *Foros de debate*, donde se intercambian conocimientos y se resuelven dudas de tipo conceptual o práctico.
- *Plataforma de entrega* de trabajos obligatorios y herramientas de calificación.

**4. Actividades y trabajos:** Dentro del Curso virtual se llevarán a cabo las siguientes:

- Participación en los foros de debate.
- Pruebas de evaluación continua en línea, al final de cada bloque del temario.

Fuera del curso virtual el estudiante también tendrá acceso a realizar **consultas** al equipo docente a través del correo, teléfono y presencialmente en los horarios establecidos para

estas actividades. También se pueden organizar videoconferencias coordinadas con los distintos Centros Asociados, si las necesidades docentes lo hicieran preciso.

## 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

Realización de un trabajo al final de curso. El trabajo consiste en desarrollar un tema del temario de la asignatura o relacionado. Para ello debe utilizar como mínimo dos fuentes: un libro y un artículo científico, o bien un libro y un video. Los estudiantes deberán exponer por escrito un resumen del tema propuesto. La realización del trabajo con una calificación mínima de aprobado es obligatoria para todos los estudiantes. Los estudiantes que se presenten a la convocatoria de Septiembre deberán realizar un trabajo adicional que les será propuesto en el mes de Septiembre.

Criterios de evaluación

Se valorará:

Nivel científico de comprensión y expresión escrita 50%

Capacidad de integrar en el resumen ambas fuentes. 20%

Aportaciones personales 30%

Ponderación de la prueba presencial y/o los trabajos en la nota final 20%

Fecha aproximada de entrega

10/06/2022

Comentarios y observaciones

Las PEC y los trabajos presentados deben ser redactados con un procesador de textos y entregados en el curso virtual en formato pdf. La nota final será un número de 1 a 10.

### PRUEBAS DE EVALUACIÓN CONTINUA (PEC)

¿Hay PEC?

Si, PEC no presencial

Descripción

Realización de ejercicios relacionados con los contenidos de la asignatura. Los ejercicios (aproximadamente 4 ejercicios) serán propuestos a lo largo del curso y podrán ser presentados y evaluados antes de la fecha final de entrega. Todos los ejercicios son obligatorios.

Criterios de evaluación

Los ejercicios serán calificados de 1 a 10. Se valorarán los siguientes aspectos:

Correcto planteamiento del problema físico, ecuaciones y condiciones de contorno que deben resolverse.

Redacción de la resolución del problema, incluyendo las aproximaciones realizadas y detallando cada paso que se sigue.

Obtención de resultados correctos.

Comparación de los resultados con soluciones teóricas (si las hubiera).

Análisis crítico de los resultados, incluyendo la discusión con gráficas y tablas.

Presentación.

**La nota final de la PEC será la media simple de los cuatro ejercicios**

Ponderación de la PEC en la nota final 80%

Fecha aproximada de entrega Segundo mes: primer y segundo trabajo.  
Tercer mes: dos siguientes trabajos. Cuarto mes: último trabajo. Las fechas dependen del calendario académico.

Comentarios y observaciones

Las PEC y los trabajos presentados deben ser redactados con un procesador de textos y entregados en el curso virtual en formato pdf. La nota final de la PEC será un número de 1 a 10.

#### 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 nota final se obtendrá mediante la fórmula

**Nota del trabajo \*0.2 + Nota de la PEC \*0.8**

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

ISBN(13):9780521009652

Título:INTRODUCTION TO HYDRODYNAMIC STABILITY (2002)

Autor/es:

Editorial:: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

ISBN(13):9780521289801

Título:HYDRODYNAMIC STABILITY (1ª ed., repr.)

Autor/es:Reid, W. H. ;

Editorial:CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS..

ISBN(13):9780521457132

Título:TURBULENCE : THE LEGACY OF A. N. KOLMOGOROV (1995)

Autor/es:Uriel Frisch ;

Editorial:CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS..

El temario sobre inestabilidades hidrodinámicas está incluido en los libros: *Introduction to hydrodynamic stability* de Drazin y *Hydrodynamic stability* de Drazin y Reid. El libro *Hydrodynamic stability* incluye desarrollos matemáticos. Para seguir la asignatura es suficiente utilizar el libro más simple, *Introduction to hydrodynamic stability*.

El temario sobre flujos turbulentos está incluido en el libro *Turbulence* de Frisch.

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

ISBN(13):9780124287709

Título:FLUID MECHANICS

Autor/es:

Editorial:ACADEMIC PRESS

ISBN(13):9780198517450

Título:PHYSICAL HYDRODYNAMICS

Autor/es:Guyon, Etienne. ;

Editorial:OXFORD UNIVERSITY PRESS

ISBN(13):9780262200196

Título:A FIRST COURSE IN TURBULENCE

Autor/es:Lumley, John L. ;

Editorial:MIT PRESS

ISBN(13):9780486640716

Título:HYDRODYNAMICS AND HYDROMAGNETIC STABILITY

Autor/es:

Editorial:DOVER PUBLICATIONS

ISBN(13):9780521598866

Título:TURBULENT FLOWS (Repr.)

Autor/es:

Editorial:CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

## RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

La UNED posee la licencia del programa ScientificNotebook, un procesador de textos científicos que incluye una versión reducida del programa Maple de cálculo simbólico. También la UNED oferta a los alumnos una versión gratuita de Maple. Maple es un programa matemático de propósito general capaz de realizar cálculos simbólicos, algebraicos y de álgebra computacional.

Por otra parte, existen algunos lenguajes de programación de acceso libre (gwbasic, maxima, octave,...) que también son útiles para la resolución de problemas de cálculo numérico.

A través del Curso virtual se pondrá a disposición de los alumnos diverso material de apoyo al estudio: resúmenes elaborados por la profesora, enlaces a videoconferencias impartidas por profesores invitados en cursos anteriores sobre temas de la asignatura, enlaces a videos en webs externas.

También se proporcionarán a los alumnos artículos y apuntes que serán, a veces material de estudio y a veces lecturas recomendadas. En unos casos son el material de estudio de los temas del programa que no se encuentran tratados en el libro base. En otros casos son lecturas que pretenden estimular a los estudiantes y desarrollar su capacidad de aplicar los conocimientos adquiridos a casos prácticos.

---

## 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.