

21-22

MÁSTER UNIVERSITARIO EN FÍSICA DE
SISTEMAS COMPLEJOS

GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA



INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA NO LINEAL

CÓDIGO 21156011

Ambito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada
mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/validar>



0090467E4FF5B9F5339217A6C2A5A5F

21-22

INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA NO LINEAL
CÓDIGO 21156011

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

Ámbito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



0090467E4FF5B9F53839217A6C245A5F

Nombre de la asignatura	INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA NO LINEAL
Código	21156011
Curso académico	2021/2022
Título en que se imparte	MÁSTER UNIVERSITARIO EN FÍSICA DE SISTEMAS COMPLEJOS
Tipo	CONTENIDOS
Nº ETCS	6
Horas	150.0
Periodo	SEMESTRE 1
Idiomas en que se imparte	CASTELLANO

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

Se dice que un sistema es no lineal si fenómenos simples crean estructuras complejas. Se caracteriza como no lineal si las relaciones causa-efecto son no lineales, aun siendo deterministas. Como consecuencia, las descripciones lineales de estos sistemas llevan al fracaso, requiriéndose para su correcto modelado de ecuaciones no lineales. Los sistemas no lineales son también dinámicos, manifestándose la complejidad que generan en el tiempo y el espacio.

La falta de recursos matemáticos para resolver las ecuaciones no lineales hizo que no hayan podido abordarse seriamente hasta los años sesenta del pasado siglo, en los que la aparición de ordenadores suficientemente potentes permitió suplir con máquinas la falta de herramientas analíticas. A partir de allí, el estudio del mundo no lineal gana momento y se crea toda una comunidad científica alrededor de él. Se reviven viejos experimentos y se plantean nuevos, el diseño de nuevas las herramientas matemáticas cobra impulso y se constituye un marco conceptual que permitirá, como veremos, englobar fenómenos de, prácticamente, todas las disciplinas.

El espacio y el tiempo, y la organización y estructura de estos, tal como la observamos, son producto de procesos no lineales. El mundo no lineal se manifiesta en todos los ámbitos que nos rodean. Las estructuras vivas, los fenómenos atmosféricos, las reacciones químicas, los paisajes, los minerales, entre otros, son esferas en las que esto se hace notorio. Por ello, lo correcto es hablar de ciencia no lineal, aunque aquí, en el contexto de un máster en física, pueda parecer sorprendente. Invocaremos a lo largo del curso la rica fenomenología de otras áreas.

Este curso es una breve introducción a la ciencia no lineal y, por lo tanto, las ecuaciones de interés son diferenciales ordinarias, diferenciales parciales y recurrencias iterativas, que aparecen en la descripción matemática de numerosos sistemas en física, biología, química, economía, química, ingeniería, etc. Estos sistemas muestran un variado y complejo comportamiento dinámico, que vamos a abordar desarrollando herramientas lineales y no lineales para su análisis y apoyándonos en modelos procedentes de campos tan dispares como la física y la economía. A lo largo de su desarrollo se hace énfasis en el comportamiento cualitativo de los modelos; en particular, en cómo cambia la naturaleza del comportamiento del sistema cuando se varían los parámetros, lo que dará lugar a las bifurcaciones. Nuestra aproximación al problema se basará en el manejo de conceptos e intuición geométrica, con un tratamiento matemático informal y amigable, pero sin por ello dejar de ser riguroso.

Ámbito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



0090467E4FF5B9F5339217A6C2A5A5F

La geometría fractal estudia los objetos irregulares. Algunos de los que nos encontraremos en ciertas etapas del desarrollo del curso tendrán esa naturaleza. Por esa razón, nos interesaremos, de manera tangencial, ciertamente, por los fractales, aunque la envergadura del campo de la geometría fractal haga literalmente imposible cualquier tipo de profundización en un curso introductorio como éste. Esta observación se hace extensiva al propio ámbito natural de este curso, que no será más que una breve presentación para, hablando en forma coloquial, “abrir boca”.

El estudio que vamos a emprender necesita de herramientas de análisis potentes. La UNED pone a disposición de sus estudiantes el programa de manipulación simbólica MAPLE 12, que se puede descargar gratuitamente desde el portal de la UNED (Medios y Servicios -> Centro de Servicios Informáticos). MAPLE, al igual que MATHEMATICA, ofrece un potente conjunto de herramientas para el análisis de ecuaciones diferenciales, gráficos, generación de fractales, etc., que serán de máxima utilidad a lo largo del curso. Existen numerosos enlaces en la web que ofrecen soluciones a muchos de los problemas que se plantearán a lo largo del curso. Serán referencia obligada a lo largo del curso.

Podemos considerar a la presente asignatura como básica e instrumental por dos razones. Es, sobre todo, una materia de corte fundamentalmente matemático, que amplía y desarrolla conocimientos ya adquiridos, en titulaciones científicas y técnicas, sobre mecánica clásica, física de fluidos, ecuaciones diferenciales (ordinarias y parciales), teoría de matrices, teoría de perturbaciones, métodos numéricos y geometría. La segunda razón radica en la proyección que sus contenidos van a tener en el resto del currículo del máster. La práctica mayoría de las asignaturas de esta titulación acuden, en mayor o menor medida, a conceptos o técnicas desarrollados aquí. Asignaturas como “inestabilidades y turbulencia”, “fluctuaciones en sistemas dinámicos” o “modelización y simulación de sistemas complejos”, hunden sus raíces en la ciencia no lineal. Otras, como “interacción de la radiación con sistemas de interés biológico”, tendrán, eventualmente, una relación muy circunstancial. El carácter metodológico y fuertemente interdisciplinar de la asignatura le permite extender su ámbito de interés a numerosas disciplinas. En la práctica, todas aquellas disciplinas que tiene un cierto grado de formalización matemática, se enfrentan, tarde o temprano, a problemas de carácter no lineal. Materias como la química, ecología o geología, han integrado progresivamente la no linealidad en sus respectivas formulaciones. Otras, como la economía o, recientemente, la historia, están dando los primeros pasos en este sentido.

REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA

Conocimiento de la teoría general ecuaciones diferenciales ordinarias lineales, nociones de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, álgebra lineal, métodos numéricos simples y técnicas elementales de manipulación simbólica. Es imprescindible un conocimiento del inglés, nivel B1.

Ámbito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/validar>



0090467E4FF5B9F5339217A6C2A5A5F

EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos
Correo Electrónico
Teléfono
Facultad
Departamento

VICTOR ALBERTO FAIREN LE LAY (Coordinador de asignatura)
vfairen@ccia.uned.es
91398-7185
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICA INTERDISCIPLINAR

HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

Profesor: Víctor Fairén Le Lay

E-Mail:
vfairen@ccia.uned.es

Teléfono: 91 398 7124

Horario: lunes y miércoles, de 10,00h a 14,00h

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.

Ámbito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



0090467E4FF5B9F5339217A6C2A5A5F

CG03 - Adquirir conocimientos de informática relativos al ámbito de estudio

CG05 - Adquirir capacidad para resolución de problemas

CG08 - Adquirir razonamiento crítico

CG10 - Adquirir capacidad de aprendizaje autónomo

COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

CE02 - 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

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

RESULTADOS DE APRENDIZAJE

En consonancia con lo expresado anteriormente, podemos enumerar los siguientes objetivos concretos a alcanzar durante el curso.

* Deberá haber entendido las características distintivas de fenómenos no lineales y manipular su terminología en distintos contextos: fluidos, reacciones químicas, procesos biológicos, etc.

* Conocerá los comportamientos más relevantes de sistemas prototipo, como el problema de Bénard, sistemas de activación-inhibición, reacción de Belousov-Zhabotinsky, etc.

* Estará capacitado para; a) el análisis de estabilidad lineal; b) la construcción de soluciones de series perturbativas simples; c) el establecimiento de las ecuaciones de amplitud y tipos de bifurcación alrededor de puntos fijos; d) la manipulación de recurrencias iterativas simples.

* Deberá haber adquirido habilidad en técnicas de exploración y resolución numéricas, y en la utilización de técnicas de manipulación simbólica (MAPLE) en problemas no lineales

* Deberá haberse iniciado en el modelado de sistemas simples

A esto, habremos de añadir destrezas y competencias transversales a adquirir o cultivar:

* Haberse iniciado en la lectura crítica de artículos de revistas científicas en inglés y posibilidad de síntesis de lo leído.

* Saber emprender la reproducción de los cálculos de determinados artículos simples.

* Ejercitarse en la realización de búsquedas bibliográficas sistemáticas.

Ámbito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



0090467E4FF5B9F5339217A6C2A5A5F

- * Prepararse (o entrenarse, en su caso) para la exposición oral y/o escrita de trabajos científicos.
 - * Saber transferir conocimientos, métodos y técnicas entre distintas disciplinas.
 - * Tener capacidad de abstracción del contexto particular de un problema
 - * Tener aptitud para abordar el estudio de problemas no exclusivos de la física
 - * Haber adquirido la capacidad de exponer un trabajo, tanto en forma escrita como oral.
 - * Poder leer ciertos artículos de revistas especializadas, con sentido crítico y capacidad de síntesis.
 - * Estar capacitado para realizar búsquedas bibliográficas.
- Y las siguientes destrezas específicas:

- * Saber reconocer patrones típicos de fenómenos no lineales
- * Saber entender y modelar fenómenos no lineales simples.
- * Conocer el carácter interdisciplinar de la materia y lograr experiencia en identificar similitudes entre fenómenos de distintos ámbitos científicos.
- * Dominar el análisis lineal de puntos fijos e interpretar sus distintos escenarios; saber construir un desarrollo en serie de las soluciones alrededor de puntos fijos y plantear sus ecuaciones de amplitud; saber reconocer y manipular las bifurcaciones primarias.
- * Saber diseñar estrategias simples de exploración previa del espacio de fases y realizar la integración numérica de modelos simples.

CONTENIDOS

Tema 1. La ciencia no lineal: una introducción a la complejidad en el tiempo.

El material para este tema estará disponible en la página web del curso. Le acompañará una bibliografía a obtener a través de la hemeroteca de la UNED e internet.

Como acompañamiento, conviene repasar lo ya aprendido en mecánica clásica sobre osciladores simples, refrescando conceptos como *grado de libertad, plano de fases, sistemas conservativos y disipativos y contracción de áreas*.

La segunda parte del tema está dedicada a los osciladores mantenidos y no lineales. En ella, aparecerán por primera vez conceptos muy importantes en física no lineal, tales como el de *ciclo límite, estabilidad y bifurcación*.



El tema es muy simple y ha de verse como un simple puente entre el ámbito lineal, bien conocido de todos, y el no lineal, centro de nuestra atención a lo largo de este curso. Permitirá familiarizarse con algunas de las consecuencias de introducir términos no lineales en conocidas ecuaciones de osciladores.

El tema viene acompañado de un material auxiliar. Son interesantes los enlaces a los portales de:

- Thomas Vojta, Missouri S&T: http://web.mst.edu/~vojta/class_355/class_355.html
- Eugene Butikov, Universidad Estatal de San Petersburgo:
<http://faculty.ifmo.ru/butikov/Nonlinear/>
- Maplesoft Demonstrations Worksheet: SOLUCIONES A SISTEMAS DE ECUACIONES DIFERENCIALES

La Biblioteca Central de la UNED dispone de varios libros sobre la física no lineal y cualquiera de ellos ofrece un tratamiento, más o menos completo, sobre osciladores no lineales.

Tema 2. La ciencia no lineal: un recorrido por la complejidad en el espacio

El material para este tema estará disponible en la página web del curso. Le acompañará una bibliografía a obtener a través de la hemeroteca de la UNED e internet.

El tema nos introduce a los sistemas no lineales heterogéneos, es decir, con estructura espacial. Es de fácil lectura y ha de verse como una introducción al desarrollo que se hará de ellos en el Tema 9.

Tema 3. Una simple teoría cualitativa de bifurcaciones locales de codimensión 1

El material para este tema estará disponible en la página web del curso.

La noción de bifurcación, ya entrevista en el Tema 1, es fundamental en el estudio de los sistemas dinámicos. A partir de lo ya aprendido en el Tema 1, desarrollaremos las nociones básicas de *valor crítico*, y *puntos y diagramas de bifurcación*, en las bifurcaciones más simples: las de codimensión 1. Recorremos las bifurcaciones típicas, como son la de Hopf y las de puntos estacionarios.

Tema 4. La sección de Poincaré

El material para este tema estará disponible en la página web del curso.

El tema 4 tiene unos contenidos esencialmente instrumentales. Las soluciones de un sistema dinámico no lineal sólo tienen expresión analítica en un número muy delimitado de situaciones (sistemas integrables). Ha de recurrirse a una integración numérica de las ecuaciones y al seguimiento de las trayectorias en el espacio de fases, cuestión bien complicada (o irrealizable) en la gran mayoría de casos. Para solventar este problema, se

Ámbito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



0090467E4FF5B9F5339217A6C2A5A5F

recurre a un método puesto a punto por el matemático H. Poincaré, y que consiste en analizar los puntos de corte de las trayectorias en un plano, transformando el flujo en una aplicación. Este procedimiento, de alto interés práctico, permitirá calificar la trayectoria como periódica, cuasiperiódica o caótica. También, nos permitirá adelantarnos al contenido del Tema 5.

Tema 5. Ecuaciones de recurrencia - mappings

El material para este tema estará disponible en la página web del curso. Le acompañará una bibliografía a obtener a través de la hemeroteca de la UNED e internet.

Muchos modelos invocan un tiempo discreto, en lugar del continuo, al que estamos acostumbrados en las ecuaciones diferenciales, lineales o no lineales. Este tiempo discreto define sistemas dinámicos que denominamos *recurrencias o mappings*. En principio, constituyen unas ecuaciones más fáciles de analizar que su contrapartida en tiempo continuo, aunque no por ello dejan de mostrar un comportamiento complejo. Han supuesto todo un hito en el desarrollo de la ciencia no lineal y su estudio es insoslayable, tanto por lo que tienen que enseñarnos desde un punto de vista teórico, como por las aplicaciones prácticas que ofrecen.

Tema 6. Estabilidad lineal de puntos fijos

Se requiere un conocimiento previo de álgebra matricial, especialmente en la obtención de autovalores y autovectores.

El material para este tema estará disponible en la página web del curso. Podrá complementarse con un repaso de las nociones básicas de álgebra matricial. El material de este tema es estándar y puede encontrarse en cualquier libro sobre ecuaciones diferenciales ordinarias, en los textos más conocidos dedicados a sistemas dinámicos, o a través de internet, que ofrece multitud de páginas web dedicadas al tema.

El primer paso en la dirección que acabamos de perfilar se dirige hacia obtener los puntos fijos y evaluar su estabilidad. En un sistema $dx/dt=F(x)$, estos son las soluciones de las ecuaciones $F(x)=0$. Una vez hallados, nos preguntamos qué es lo que ocurre con las trayectorias muy cercanas a ellos. Si se alejan, esto querrá decir que una pequeña fluctuación lleva el sistema lejos del punto fijo, y éste será inestable. Lo contrario, hará que el punto fijo sea estable. La formalización de esta idea es lo que se denomina Principio de Estabilidad Lineal, a cuyo desarrollo dedicamos el tema, y que pasa por encontrar una aproximación lineal, $dx'/dt=L \cdot x'$ al sistema original y resolver el problema de autovalores de la matriz L .

El análisis lineal completo, en función de los distintos parámetros del sistema, nos lleva al cálculo de los llamados **puntos críticos**, que representaremos en lo que lo denominaremos el **diagrama de estabilidad**, piedra angular del análisis del sistema.

Ámbito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/0090467E4FF5B9F5339217A6C2A5A5F>



Como Material auxiliar podemos citar:

- Maplesoft Demonstrations Worksheet: FORMA CANÓNICA DE JORDAN
 - Maplesoft Demonstrations Worksheet: ESTABILIDAD LINEAL DE PUNTOS FIJOS (INTERACTIVA)
 - Maplesoft Demonstrations Worksheet: CLASIFICACIÓN DE PUNTOS FIJOS EN 2D
- cuyos enlaces será debidamente señalados en el curso virtual.

Tema 7. Comportamiento no lineal alrededor de puntos fijos.

El material para este tema estará disponible en la página web del curso. Seguiremos en el desarrollo de este tema el libro de G. Nicolis, Introduction to Nonlinear Science (Cambridge University Press, 1995, ISBN 0 521 46782 9).

Una vez obtenido el diagrama de estabilidad, hemos de preguntarnos qué tipo de soluciones ofrece el sistema como alternativa a los puntos fijos inestables. Volvemos al concepto de bifurcación y de nuevas soluciones emergentes. Esta vez, vamos a tratar de construirlas, utilizando teoría de perturbaciones alrededor de los puntos fijos. Un análisis general nos permitirá obtener las llamadas **ecuaciones de amplitud** en los distintos tipos de bifurcación que ya conocemos.

Este tema es esencialmente metodológico y gran parte de estudiado nos servirá para el estudio y desarrollo del tema 9.

Entre el material auxiliar podemos citar:

- BIFURCACIONES SIMPLES (Maplesoft worksheet,)
- BIFURCACIONES SIMPLES (Wolfram demonstration)

Tema 8. Dinámica caótica y fractales

El material para este tema estará disponible en la página web del curso.

En el tema anterior hemos obtenido una aproximación analítica a las soluciones alrededor de los puntos fijos. Este tipo de análisis tiene, como sabemos, un limitado rango de validez. A la pregunta de qué ocurre fuera de él, cuando ya penetramos de lleno en el dominio no lineal, sólo puede responderse con exploraciones numéricas. Estas revelan toda una tipología de comportamientos, que pueden llegar a ser extremadamente complejos, tanto en el temporal como espacialmente. Hasta el momento, hemos apercibido cuán complejos pueden ser los cambios en el tiempo (los movimientos caóticos, por ejemplo). En este tema, introduciremos una complejidad referida a la geometría de objetos, por medio de la auto-similitud y los fractales. Los fractales y los sistemas dinámicos no lineales están relacionados a través de caminos sutiles y fascinantes. En este tema, daremos ejemplos de esta relación.

Ámbito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



0090467E4FF5B9F5339217A6C2A5A5F

Entre el material auxiliar podemos citar:

- COPO DE NIEVE DE KOCH (Maple worksheet)
- ATRACTOR DE RÖSSLER (Maple worksheet):
- SECCIÓN DE POINCARÉ DEL ATRACTOR DE DUFFING (Maple worksheet:)
- ATRACTOR DE LORENZ (Maple Worksheet)
- ATRACTOR DE LORENZ (demo interactiva)
- ATRACTOR DE RÖSSLER INTERACTIVO (Wolfram Demonstration)
- ATRACTOR DE LORENZ INTERACTIVO (Wolfram demonstration)
- DINÁMICA DEL OSCILADOR DE DUFFING (Wolfram demonstration)
- OTRAS CURVAS FRACTALES DE KOCH (Wolfram demonstration)

tema 9. Sistemas espaciales distribuidos

El material para este tema estará disponible en la página web del curso.

El tiempo, y la complejidad que genera la no linealidad a lo largo de él, ha sido nuestro principal interés hasta ahora. Sin embargo, también la no linealidad es fuente de complejidad a lo largo del espacio, y a una introducción a ello vamos a dedicar este capítulo.

Tal como se vio en el Tema 2, la no linealidad estructura el espacio. Los modelos de sistemas en los que esta dimensión es relevante, plantean generalmente la descripción del sistema en términos de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales. En este tema, sin ánimo de profundizar en exceso en un campo como este último, que requeriría un curso por sí solo, haremos un recorrido por los casos más conocidos. Uno de ellos, es el problema de Bénard, fenómeno paradigmático en teoría no lineal y arquetipo de la complejidad en fluidos. El otro caso, es el de las ecuaciones de reacción-difusión, generalización no lineal de la conocida ecuación del calor, y que sirven de modelo para todo un elenco de problemas en las más diversas disciplinas. Las estructuras de Turing constituyen el ejemplo más fácil de analizar de lo que significa la no linealidad en su componente espacial.

El tratamiento que daremos empleará lo aprendido en los temas 2, 6 y 7. En particular, los problemas de reacción-difusión, a los que dedicaremos mayor atención, serán el botón de muestra de nuestro estudio, y distintos ejemplos servirán de objeto de análisis en muchos trabajos de fin de curso.

METODOLOGÍA

La docencia se impartirá a través de un curso virtual dentro de la plataforma educativa de la UNED.

Dentro del curso virtual el alumno dispondrá de:

- * Página de bienvenida, donde se indica el concepto general de la asignatura y se presentan a los docentes.
- * Calendario, donde se establece el orden temporal de actividades.

Ámbito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



0090467E4FF5B9F5339217A6C2A5A5F

* Una guía de estudio para cada uno de los temas del programa, con un desarrollo completo del tema, los objetivos del aprendizaje, la bibliografía básica y complementaria de estudio, los ejercicios y actividades propuestas.

* Materiales complementarios

Todos estos materiales de apoyo se encontrarán accesibles en la web de la UNED, en el espacio virtual de esta asignatura.

Estos recursos, serán complementados por parte del estudiante con:

* La participación en los foros de debate.

* La realización periódica de ejercicios, individualmente o en grupo, de puesta a prueba de los conocimientos adquiridos

* Memoria de curso, en la que el estudiante deberá presentar un trabajo independiente de resumen crítico de un artículo de la literatura científica o de un tema propuesto por el profesor.

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

Presentación formal del problema y resultados de alguna de las dos PEC.

Criterios de evaluación

Ponderación de la prueba presencial y/o los trabajos en la nota final 30% nota final

Fecha aproximada de entrega 20/02/2022

Comentarios y observaciones

PRUEBAS DE EVALUACIÓN CONTINUA (PEC)

¿Hay PEC?

Si, PEC no presencial

Descripción

La asignatura se evalúa a través de dos pruebas de evaluación continua: En las dos primeras se aborda el estudio de un sistema no lineal y la presentación es libre.

Criterios de evaluación

Primera PEC: 35% nota final

Segunda PEC: 35% nota final

Ponderación de la PEC en la nota final 70%

Fecha aproximada de entrega 30/11/2021, 20/01/2022

Comentarios y observaciones

Ámbito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



0090467E4FF5B9F5339217A6C2A5A5F

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?

Cada PEC cuenta un 35% de la nota ($2 \times 35\% = 70\%$). El trabajo de final de curso cuenta el 30% restante.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Aunque existe una amplia literatura sobre la no linealidad, en la que encontraremos muchos textos dedicados a una introducción al tema, el presente curso, por sus características, no tiene un texto básico determinado. La diversidad de materiales y la forma en que estos deben ser tratados, hace difícil encontrar un único texto que satisfaga adecuadamente todos los requisitos. A esto, hemos de añadir la ausencia de textos avanzados en español, lo que obliga a acudir a la literatura en inglés, hipotecada, en cierta forma, por las eventuales dificultades en asegurar la oferta.

En consecuencia, el material de estudio será redactado por el profesor de la asignatura y remitido, progresivamente, a medida que avance el curso. Este material consistirá en un texto impreso con el desarrollo del tema, ejemplos resueltos y ejercicios propuestos, acompañado de la bibliografía correspondiente y de copias de artículos que amplían ciertos aspectos relevantes.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA**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.

Ámbito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



0090467E4FF5B9F53839217A6C2A5A5F