

## **Grado en Física**

### **26933 - Caos y sistemas dinámicos no lineales**

**Guía docente para el curso 2014 - 2015**

**Curso: 3 - 4, Semestre: 2, Créditos: 5.0**

---

## **Información básica**

---

### **Profesores**

- **Jesús Gómez Gardeñes** [gardenes@unizar.es](mailto:gardenes@unizar.es)
- **David Zueco Lainez** [zueco@unizar.es](mailto:zueco@unizar.es)
- **Juan José Mazo Torres** [juanjo@unizar.es](mailto:juanjo@unizar.es)

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

Se recomienda haber cursado las asignaturas de Análisis Matemático, Ecuaciones Diferenciales y Física Computacional. Así mismo se recomienda un seguimiento continuado de la asignatura con asistencia a las clases presenciales e interacción con el profesorado de la misma.

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

Las clases de teoría y de problemas se imparten a lo largo del segundo semestre del Grado de Física en el lugar y horario que establezca el centro al respecto.

Sesiones de evaluación: la evaluación continua se realiza a lo largo de todo el periodo de impartición. Las sesiones de evaluación mediante una prueba escrita global son las que el Decanato de la Facultad de Ciencias determina y publica cada año en su página web.

---

## **Inicio**

---

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

**El estudiante, para superar esta asignatura, deberá demostrar los siguientes resultados...**

- 1:**  
Entiende la singularidad e importancia de los sistemas dinámicos no lineales.
- 2:**  
Es capaz de analizar un sistema dinámico no lineal.
- 3:**

Conoce las bifurcaciones fundamentales propias de los sistemas dinámicos no lineales.

- 4:** Entiende y cuantifica el fenómeno del caos.
- 5:** Entiende las bases del fenómeno de sincronización.
- 6:** Entiende el fenómeno de localización no lineal.
- 7:** Reconoce y modela fenómenos no lineales

## Introducción

### Breve presentación de la asignatura

Los sistemas no lineales están caracterizados por no cumplir el principio de superposición; es decir, si A y B son solución de nuestro sistema, en principio A+B no tiene porque ser solución. Estos sistemas interesan a la física y las ciencias en general porque la mayoría de los sistemas dinámicos son no lineales por naturaleza y por ello más difíciles de resolver que los lineales. Con esta asignatura se pretende proporcionar al alumno una formación básica y homogénea en aspectos generales de los sistemas dinámicos no Lineales que le capacite para el estudio de sistemas complejos en el ámbito de la física y otras ciencias afines como la biofísica o la sociofísica por ejemplo

---

## Contexto y competencias

---

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

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

La ciencia no lineal es una disciplina de carácter trasversal con implicaciones en todas las áreas de la ciencia y la ingeniería. El objetivo fundamental de la asignatura es proporcionar al alumno de las herramientas básicas y computacionales necesarias para el estudio de sistemas dinámicos no lineales. Dado un sistema dinámico no lineal estamos interesados en caracterizarlo adecuadamente según el retrato de fases del mismo (puntos fijos, ciclos límite, atractores extraños....) y estudiar las posibles bifurcaciones (transiciones de fase estáticas y dinámicas) que aparecen al variar los distintos parámetros de interés del mismo. Este estudio nos llevará a la presentación de tres paradigmas fundamentales de la ciencia no lineal; los fenómenos de caos, sincronización y localización.

A lo largo del curso se trabajará con muchos sistemas diferentes y de este modo se abordará el segundo objetivo fundamental del mismo: presentar al alumno mecanismos para el diseño de modelos sencillos de fenómenos complejos.

La ciencia no lineal es una disciplina de carácter trasversal con implicaciones en todas las áreas de la ciencia y la ingeniería.

El objetivo fundamental de la asignatura es proporcionar al alumno de las herramientas básicas y computacionales necesarias para el estudio de sistemas dinámicos no lineales. Dado un sistema dinámico no lineal estamos interesados en caracterizarlo adecuadamente según el retrato de fases del mismo (puntos fijos, ciclos límite, atractores extraños....) y estudiar las posibles bifurcaciones (transiciones de fase estáticas y dinámicas) que aparecen al variar los distintos parámetros de interés del mismo. Este estudio nos llevará a la presentación de tres paradigmas fundamentales de la ciencia no lineal; los fenómenos de caos, sincronización y localización.

A lo largo del curso se trabajará con muchos sistemas diferentes y de este modo se abordará el segundo objetivo fundamental del mismo: presentar al alumno mecanismos para el diseño de modelos sencillos de fenómenos complejos.

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

Se trata de una asignatura optativa que se debe cursar en el tercer o cuarto año del grado. Su oferta responde a un intento de acercar al alumno el estudio de problemas en la frontera del conocimiento de la física que habitualmente son ajenos a la troncalidad de los estudios. De este modo, asentado en los conocimientos obtenidos a lo largo de los 5 primeros semestres del grado, el alumno será capaz de abordar un gran número de problemas interesantes en diversas disciplinas, que no han sido estudiados anteriormente ya sea por su complejidad (el estudio del péndulo no lineal como sistema mecánico por ejemplo) o por su situación al margen de los campos troncales tradicionales de los estudios de física (modelización de sistemas biofísicos por ejemplo). Los conocimientos adquiridos permitirán al alumno acercarse a la frontera del conocimiento en el campo de la Física Estadística y No Lineal, una de las disciplinas de la física de mayor interés en la actualidad.

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

- 1:** Analizar y comprender fenómenos no lineales en diversos campos científicos.
- 2:** Dominar de las herramientas de la ciencia no lineal
- 3:** Elaborar y analizar modelos dinámicos no lineales.
- 4:** Comprender los fenómenos paradigmáticos en ciencia no lineal: caos, localización y sincronización
- 5:** Simular sistemas dinámicos no lineales.

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

La importancia del aprendizaje realizado se asienta básicamente en dos consideraciones. Por un lado la transversalidad de la asignatura presentará al alumno numerosos sistemas propios no sólo de la física, si no también de la biología, la química o la ingeniería susceptibles de ser abordados con las herramientas adquiridas. Por otro lado el alumno aprenderá a realizar modelos sencillos de una diversidad de fenómenos naturales. Creemos que la asignatura Caos y Sistemas Dinámicos No Lineales es una asignatura fundamental para la profundización en algunos de los problemas más interesantes de la ciencia en la actualidad.

---

## **Evaluación**

---

### **Actividades de evaluación**

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

- 1:** Evaluación continuada del aprendizaje del alumno mediante la resolución de problemas, cuestiones y otras actividades propuestas por el profesorado de la asignatura (30% de la nota final).
- 2:** Realización de dos pruebas teórico-prácticas a lo largo del curso (20% de la nota final).
- 3:** Realización y defensa de un trabajo. (50% de la nota final)

### **Superación de la asignatura mediante una prueba global única**

Dicha prueba global consistirá en un examen escrito (50% de la nota final) y la evaluación del trabajo realizado y la defensa pública del mismo (50% de la nota final).

Los alumnos que ya hayan defendido el trabajo realizado están eximidos de realizar la presentación del mismo dentro de la prueba global única

---

## Actividades y recursos

---

### Presentación metodológica general

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

Lecciones magistrales: presentan al alumno los contenidos teóricos básicos para lograr la adquisición por su parte de las competencias técnicas asociadas. Intercalan la presentación de las nociones teóricas básicas con la realización de problemas.

Realización de problemas en grupo: en dichas sesiones el alumno deberá afrontar la resolución de problemas en colaboración con otros compañeros y bajo la supervisión del profesor de la asignatura.

Prácticas de simulación: permiten al alumno familiarizarse con las nociones de la física computacional que son básicas en el estudio de sistemas dinámicos no lineales.

Realización de trabajos: el alumno demostrará que es capaz de integrar los conocimientos recibidos en la resolución de un problema de la física no lineal.

Lecciones magistrales: presentan al alumno los contenidos teóricos básicos para lograr la adquisición por su parte de las competencias técnicas asociadas. Intercalan la presentación de las nociones teóricas básicas con la realización de problemas.

Realización de problemas en grupo: en dichas sesiones el alumno deberá afrontar la resolución de problemas en colaboración con otros compañeros y bajo la supervisión del profesor de la asignatura.

Prácticas de simulación: permiten al alumno familiarizarse con las nociones de la física computacional que son básicas en el estudio de sistemas dinámicos no lineales.

Realización de trabajos: el alumno demostrará que es capaz de integrar los conocimientos recibidos en la resolución de un problema de la física no lineal.

### Actividades de aprendizaje programadas (Se incluye programa)

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

**1:**

Trabajo presencial 2 ECTS distribuidos de la siguiente manera:

1A Clases magistrales participativas (1.2 ECTS). En estas clases se presentarán los siguientes contenidos:

- Introducción a los sistemas dinámicos no lineales.

- Sistemas dinámicos en una dimensión: flujos en la línea, bifurcaciones y flujos en el círculo.

- Sistemas dinámicos en el plano (dimensión 2): puntos fijos, plano de fases, oscilaciones y ciclos límite, bifurcaciones en el plano.

- Caos: ecuaciones de Lorenz, "maps" unidimensionales, fractales y atractores extraños.

1B Clases de resolución de problemas en grupo (0.6 ECTS)

1C Prácticas de simulación (0.2 ECTS)

**2:**

Realización de un trabajo en el contexto de la asignatura

**3:**

Estudio y trabajo no presencial por parte del alumno

**4:**

Evaluación 0.2 ECTS

## Planificación y calendario

### Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos

El calendario de las sesiones presenciales será el establecido por la Facultad de Ciencias y será anunciado con anticipación.

## Bibliografía

- S.H. Strogatz; Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry and Engineering. Perseus books, 1994.
  - J. Gleick; Chaos. Making a New Science. Viking, 1987. [J.Gleick; Caos. La creación de una ciencia. Seix Barral, 1988]
  - S.H. Strogatz; Sync. The emerging science of spontaneous order. Hyperion Books, 2004.
  - G. L. Baker and J. A. Blackburn; The pendulum: A case study in physics. Oxford University Press, 2005.
  - E. Ott; Chaos in Dynamical Systems. Cambridge Univ. Press, 1993.
  - A. Pikovsky, M. Rosenblum, and J. Kurths; Synchronization. A universal concept in nonlinear science. Cambridge Univ. Press, 2001.
  - A. Scott; Nonlinear Science: Emergence & dynamics of coherent structures. Oxford University Press, 1999.
  - N.G. Van Kampen; Stochastic processes in physics and chemistry, 2007 (3a ed.).
  - S. N. Dorogovtsev and J. F. F. Mendes, Evolution of Networks: From Biological Nets to the Internet and WWW, Oxford University Press, Oxford, 2003. (280 pp.)
  - M.E.J. Newman, Networks: An Introduction, Oxford University Press, Oxford, 2010.
  - A. L. Barabási, Linked: The new science of networks, Basic Books, 2002.
- 
- S.H. Strogatz; Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry and Engineering. Perseus books, 1994.
  - J. Gleick; Chaos. Making a New Science. Viking, 1987. [J.Gleick; Caos. La creación de una ciencia. Seix Barral, 1988]
  - S.H. Strogatz; Sync. The emerging science of spontaneous order. Hyperion Books, 2004.
  - G. L. Baker and J. A. Blackburn; The pendulum: A case study in physics. Oxford University Press, 2005.
  - E. Ott; Chaos in Dynamical Systems. Cambridge Univ. Press, 1993.
  - A. Pikovsky, M. Rosenblum, and J. Kurths; Synchronization. A universal concept in nonlinear science. Cambridge Univ. Press, 2001.
  - A. Scott; Nonlinear Science: Emergence & dynamics of coherent structures. Oxford University Press, 1999

## Referencias bibliográficas de la bibliografía recomendada

- Barabási, Albert-László. Linked : the new science of networks / Albert-László Barabási Cambridge (Massachusetts) : Perseus, cop. 2002
- Dorogovtsev, S.N.. Evolution of Networks: From Biological Nets to the Internet and WWW. Oxford University Press. 2003
- G. L. Baker and J. A. Blackburn. The pendulum: A case study in physics. Oxford University Press, 2005
- Gleick, James. Caos : la creación de una ciencia / James Gleick ; traducción del inglés por Juan Antonio Gutiérrez-Larraya . - [1ª ed.] Barcelona : Seix-Barral, 1988
- Kampen, N. G. Van. Stochastic processes in physics and chemistry / N. G. Van Kampen Amsterdam [etc.] : North-Holland,

cop. 1981

- Newman, M. E. J.. Networks: An Introduction. Oxford University Press. 2010
- Ott, Edward. Chaos in Dynamical Systems / Edward Ott . - 1st ed. Cambridge : Cambridge University Press, 1993
- Pikovsky, Arkady. Synchronization : a universal concept in nonlinear sciences / Arkady Pikovsky, Michael Rosenblum and Jürgen Kurths . - 1st. pbk. ed. Cambridge [etc.] : Cambridge University Press, 2003
- Scott, Alwyn. Nonlinear science : emergence and dynamic of coherent structures / Alwyn Scott . - 2nd ed. Oxford : Oxford University Press, 2003
- Strogatz, Steven H.. Nonlinear dynamics and chaos : with applications to physics, biology, chemistry, and engineering / Steven H. Strogatz . - 1st paperback pr. Cambridge, Massachusetts : Perseus Books, cop. 2000
- Strogatz, Steven Henry. Sync : the emerging science of spontaneous order / Steven Strogatz . - 1st. ed. New York : Theia, cop. 2003