

23-24

MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA DE SISTEMAS Y DE  
CONTROL

# GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA



## CONTROL NO LINEAL

CÓDIGO 31104178

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>



C6875E790022FD03095B83A7D6178F8A

uned

23-24

CONTROL NO LINEAL

CÓDIGO 31104178

# 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/>



C6875E790022FD03095B83A7D6178F8A

|                           |                                                             |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Nombre de la asignatura   | CONTROL NO LINEAL                                           |
| Código                    | 31104178                                                    |
| Curso académico           | 2023/2024                                                   |
| Título en que se imparte  | MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y DE CONTROL |
| Tipo                      |                                                             |
| Nº ETCS                   | 0                                                           |
| Horas                     | 0.0                                                         |
| Periodo                   | SEMESTRE                                                    |
| Idiomas en que se imparte |                                                             |

## PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

Es un hecho bien conocido que los sistemas reales son todos de tipo no lineal y aunque gran parte de ellos se pueden tratar mediante la teoría del control lineal, los avances tecnológicos han producido gran variedad de problemas y aplicaciones que son no lineales de forma esencial.

En esta asignatura se hace una introducción al análisis de los sistemas no lineales y se presentan algunas de las técnicas de control de mayor aplicación actualmente.

Se aplicarán las técnicas estudiadas en el control de una planta real de laboratorio.

La asignatura se engloba dentro del módulo de control del que forman parte también las asignaturas:

- Control Multivariable
- Control Inteligente
- Control Híbrido

Los sistemas no lineales se basan en una teoría matemática bien asentada que permite analizar la estabilidad local y global de los sistemas, así como realizar diseños de controladores con prestaciones no alcanzables con otros métodos de control.

Esta asignatura añade al perfil profesional del estudiante la capacidad de analizar la estabilidad y diseñar estrategias de control para muchos sistemas que no pueden controlarse utilizando las técnicas de control lineal.

También permite mejorar el rendimiento de sistemas que pueden controlarse mediante un control lineal (que funciona de forma local) ya que permite diseñar un control que funcione globalmente (en todo el rango de funcionamiento de la planta).

Estos sistemas son además de gran interés profesional ya que incluyen entre otros los vehículos autónomos (coches, drones,...), robots móviles, sistemas químicos y sistemas, biológicos, generadores de energía, dispositivos electromecánicos, entre otros muchos ejemplos.

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/>



C6875E790022FD03095B83A7D6178F8A

## REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA

Los conocimientos necesarios para poder abordar la asignatura son:

- Cálculo diferencial, integral y álgebra al nivel del Grado de ciencias o ingenierías.
- Fundamentos de Sistemas Lineales y de Control.

## EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos  
Correo Electrónico  
Teléfono  
Facultad  
Departamento

DICTINO CHAOS GARCIA  
dchaos@dia.uned.es  
91398-7157  
ESCUELA TÉCN.SUP INGENIERÍA INFORMÁTICA  
INFORMÁTICA Y AUTOMÁTICA

## PROFESOR EXTERNO DE MASTER UNIVERSITARIO

Nombre y Apellidos  
Correo Electrónico

JOSÉ ANTONIO LÓPEZ OROZCO  
jalopez@invi.uned.es

## HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

La comunicación con el Equipo Docente se realizará preferentemente a través del foro en el curso virtual y del correo electrónico, escribiendo a la dirección de los profesores Dictino Chaos García (dchaos@dia.uned.es) y José Antonio López Orozco (jalopez@invi.uned.es). También puede contactar telefónicamente o de forma presencial con el profesor Dictino Chaos García los martes lectivos de 12:00 a 14:00 y de 16:00 a 18:00 en la E.T.S. de Ingeniería Informática de la UNED, que está situada en la calle Juan del Rosal, nº 16, en Madrid, despacho 5.10. Tel.: 91 398 71 57.

Para ser atendido personalmente por el profesor José Antonio López, envíe previamente un correo electrónico a dicho profesor para concertar una cita.

## 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

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/>



C6875E790022FD03095B83A7D6178F8A

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 autodirigido o autónomo.

### **Competencias Generales:**

CG01 - Adquirir capacidad de iniciativa y motivación; planificación y organización; y manejo adecuado del tiempo.

CG02 - Ser capaz de seleccionar y manejar adecuadamente los conocimientos, recursos y estrategias cognitivas de nivel superior apropiados para el afrontamiento y resolución de diverso tipo de tareas/problemas con distinto nivel de complejidad y novedad: análisis y síntesis.

CG03 - Ser capaz de aplicar los conocimientos a la práctica y resolver problemas en entornos nuevos o poco conocidos.

CG04 - Ser capaz de desarrollar pensamiento creativo, razonamiento crítico y tomar decisiones

CG05 - Ser capaz de seguir, monitorizar y evaluar el trabajo propio o de otros, aplicando medidas de mejora e innovación.

CG06 - Ser capaz de comunicarse y expresarse, tanto oralmente como por escrito, en castellano y otras lenguas, con especial énfasis en inglés

CG07 - Desarrollar capacidades en comunicación y expresión matemática, científica y tecnológica

CG08 - Ser capaz de utilizar las herramientas y recursos de la Sociedad del Conocimiento: manejo de las TIC, búsqueda de información relevante, gestión y organización de la información, recolección de datos, el manejo de bases de datos y su presentación.

### **Competencias Específicas:**

CE01 - Abordar el tratamiento de procesos industriales, aeronáuticos o navales de distinta tecnología (mecánicos, electrónicos, sociales, ...) recurriendo a diferentes soluciones.

CE02 - Montar sistemas de control sobre procesos reales, incluyendo sensores, actuadores, fusión de datos, comunicaciones, microcontroladores, etc.

CE03 - Ser capaz de realizar búsquedas bibliográficas y de documentación técnica para la resolución de problemas

## **RESULTADOS DE APRENDIZAJE**

Una vez cursada la asignatura los alumnos serán capaces de diferenciar claramente aquellas características de los Sistemas no Lineales que les diferencian de los Sistemas Lineales.

Dispondrán de una comprensión cualitativa del comportamiento de los Sistemas Dinámicos No Lineales, esto es, de las reglas que rigen su evolución en el tiempo, en toda su

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>



C6875E790022FD03095B83A7D6178F8A

complejidad:

- Escape en tiempo finito.
- Comportamientos cíclicos
- Comportamientos extraños, fenómenos de Caos.

Dispondrán del conocimiento de la herramienta esencial para el análisis de la Estabilidad de Sistemas No Lineales.

Los Alumnos serán capaces de realizar diseños de control no lineal utilizando las técnicas más actuales.

En particular los resultados de aprendizaje de cada tema son:

**Tema 1:**

- Entender las diferencias esenciales entre los sistemas lineales y no lineales (RA1.1).
- Saber caracterizar la respuesta de los sistemas no lineales en las proximidades de los puntos de equilibrio (RA1.2).
- Saber modelar y simular sistemas no lineales usando Matlab-Simulink (RA1.3).

**Tema 2:**

- Entender los distintos tipos de estabilidad de un sistema no lineal (RA2.1).
- Comprender el diseño de controladores por aproximación de sistemas no lineales por lineales (RA2.2).
- Entender y conocer las funciones de Lyapunov y su uso para el estudio de la estabilidad (RA2.3).

**Tema 3:**

- Conocer los diversos tipos de estabilidad de sistemas con entradas.
- Saber aplicar el teorema de la pequeña ganancia.(RA3.1).
- Conocer el principio básico de la pasividad.(RA3.2).
- Conocer criterios de estabilidad en sistemas de control con no linealidades en el lazo de realimentación usando funciones de Lyapunov y técnicas basadas en el dominio de frecuencias (RA3.3).

**Tema 4:**

- Conocer y entender el método de diseño de control de sistemas no lineales de linealización por realimentación (RA4.1).
- Conocer las posibilidades y limitaciones del método (RA4.2).
- Saber diseñar controladores de sistemas no lineales usando el método de linealización por realimentación (RA4.3).

**Tema 5:**

- Conocer y entender el método de diseño de control de sistemas no lineales por el modo deslizante (RA5.1).
- Conocer las posibilidades y limitaciones del método (RA5.2).
- Saber diseñar controladores de sistemas no lineales usando el control en modo deslizante (RA5.3).

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>



C6875E790022FD03095B83A7D6178F8A

**Tema 6:**

- Conocer y entender el método de diseño de control de sistemas no lineales por el modo "backstepping" (RA6.1).
- Conocer las posibilidades y limitaciones del método (RA6.2).
- Saber diseñar controladores de sistemas no lineales usando el método "Backstepping" (RA6.3).

## CONTENIDOS

### Lección 1: Introducción al control no lineal.

En este capítulo se hace una introducción al control no lineal, se muestran las importantes diferencias que existen entre este tipo de sistemas y los sistemas lineales, y el modo de aproximarlos.

Se dan ejemplos de sistemas no lineales y la forma en que los podemos simular utilizando Matlab-Simulink u Octave.

### Lección 2: Estabilidad de Lyapunov.

En esta lección se presentan los distintos conceptos de estabilidad y se estudian diversos métodos para demostrar la estabilidad o inestabilidad de los sistemas no lineales.

Los conceptos y métodos que se estudian en esta lección forman la base del análisis de la estabilidad de los sistemas de control que se presentan en las lecciones siguientes, y son, por tanto, la base del resto de lecciones.

Se introduce el concepto fundamental de función de Lyapunov y se dan teoremas que permiten asegurar distintos tipos de estabilidad de sistemas no lineales.

### Lección 3: Aplicaciones de la teoría de Lyapunov.

En esta lección se extienden los conceptos de estabilidad a sistemas no autónomos que poseen una entrada.

Se estudian las nuevas definiciones de estabilidad así como la estabilidad de sistemas interconectados (teorema de la pequeña ganancia). También se introduce el concepto de pasividad.

Estos métodos se aplican al problema de estabilidad absoluta en el cual existe un sistema lineal caracterizado por su respuesta en frecuencia realimentado por una función no lineal.



#### Lección 4: Control mediante linealización por realimentación.

En esta lección se presenta un método de control de sistemas no lineales consistente en obtener un sistema equivalente lineal, para lo cual se utiliza un cambio de variables de estado y una señal de control adecuada. Una vez linealizado el sistema se diseña una ley de control haciendo uso de las técnicas de diseño de sistemas lineales. Se introducen los aspectos de geometría diferencial necesarios para la presentación del método, y se discuten las formas de representación necesarias para la aplicación del método.

#### Lección 5: Control en modo deslizante.

En esta lección se estudia un método de diseño de controladores no lineales de gran uso en aplicaciones y que tiene en cuenta las incertidumbres en el conocimiento del sistema o simplificaciones en su modelo. Se introducen los conceptos y nociones básicos del método y se describe la estructura de control y la elección de los parámetros de diseño. Se muestran ejemplos de aplicación.

#### Lección 6: Control backstepping.

El método de diseño de control no lineal denominado “backstepping” utiliza la construcción recursiva de funciones de Lyapunov para obtener la ley de control. El método está relacionado con el de linealización por realimentación, pero tiene la ventaja de que no necesita cancelar todas las no linealidades, sino sólo aquellas que resultan convenientes. El método es muy robusto y se encuentra en gran número de aplicaciones.

### METODOLOGÍA

La asignatura de Control No Lineal se adscribe a la metodología de educación a distancia de la UNED. Por ese motivo cuenta con una plataforma de cursos virtuales en los cuales se irán añadiendo contenidos así como los problemas a resolver en cada uno de los temas y cuestiones de autoevaluación.

La metodología de esta asignatura se basa en la evaluación continua por medio de trabajos: En cada lección se publicarán en la plataforma una clase grabada con la teoría correspondiente a la lección y otra de carácter práctico usando herramientas informáticas; se facilitará el software utilizado y las transparencias de la teoría. Se proporciona también bibliografía complementaria que conviene estudiar para una mejor comprensión y manejo de las técnicas de diseño.

Es conveniente que, una vez estudiados los contenidos teóricos el estudiante intente resolver por sí mismo los ejemplos que se plantean en cada tema en forma de ejercicios de autoevaluación. Si no es capaz de resolver algún ejercicio o su solución no concuerda con la proporcionada en dichos ejercicios deberá utilizar los foros para plantear las dudas.

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/C6875E790022FD03095B83A7D6178F8A>





pertinentes. El objetivo es depurar todas las dudas posibles antes de intentar los ejercicios evaluables.

Además de las transparencias, las clases en vídeo y los problemas de autoevaluación resueltos en los mismos en cada tema se plantearán **un conjunto de problemas que han de entregarse**.

El Equipo Docente hará un seguimiento continuo del desempeño del estudiante en la asignatura, ofreciéndole correcciones y realimentación acerca de los errores cometidos en la resolución de los ejercicios.

De este modo, antes de pasar a un nuevo tema será necesario haber realizado correctamente un mínimo de ejercicios correctos correspondientes al tema.

## 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

Se planteará un trabajo por cada tema de la asignatura, es decir un total de 6 trabajos.

**Los cinco primeros trabajos son obligatorios, la evaluación de dicho tema es necesaria antes de pasar a la evaluación del tema siguiente.**

**El último tema es voluntario y podrá subir nota si se realiza adecuadamente.**

Criterios de evaluación

Cada trabajo consistirá en un conjunto de ejercicios (normalmente 6) acerca del tema, todos los ejercicios tienen la misma puntuación. Cada ejercicio puede constar de varios subejercicios que se valorarán de forma proporcional.

**Para superar el tema será necesario tener un número mínimo de ejercicios bien resueltos (típicamente 3).**

**La puntuación de cada trabajo será de 0 a 10 puntos.**

**La única excepción es el trabajo voluntario 6, que consta de tres ejercicios y en el cual no hay un número mínimo de ejercicios a resolver.**

Ponderación de la prueba presencial y/o los trabajos en la nota final 90%

Fecha aproximada de entrega

Última semana de Junio para el último ejercicio

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/>



C6875E790022FD03095B83A7D6178F8A

Las fechas de entrega de cada trabajo se publicarán en el plan de trabajo del curso atendiendo al calendario académico pero de forma aproximada serán:

**Tema 1: Primera semana de Marzo**

**Tema 2: Última semana de Marzo**

**Tema 3: Última semana de Abril**

**Tema 4: Tercera semana de Mayo**

**Tema 5: Primera semana de Junio**

**Tema 6: Última semana de Junio**

#### **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? Si, no presencial

Descripción

Prueba final

Criterios de evaluación

Una vez concluidos los ejercicios se realizará una breve entrevista con cada estudiante de forma individual.

**En la entrevista se realizarán preguntas acerca de los ejercicios entregados para comprobar su autoría, así como que se han adquirido los conocimientos básicos necesarios.**

Ponderación en la nota final 10%

Fecha aproximada de entrega Tras realizar los últimos ejercicios

Comentarios y observaciones

#### **¿CÓMO SE OBTIENE LA NOTA FINAL?**

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/>



C6875E790022FD03095B83A7D6178F8A

Si se entregan todos los trabajos obligatorios en la convocatoria de Junio (T1 a T5) la evaluación continua será la media de las calificaciones de cada trabajo. El trabajo del tema 6 que es voluntario podrá aportar un punto a la suma total por cada ejercicio bien resuelto, es decir la calificación será:

**Calificación evaluación continua =  $(T1 + T2 + T3 + T4 + T5 + T6)/5$**

**Si no se entregan todos los trabajos en Junio, o la calificación no es suficiente para superar la asignatura en esa convocatoria, el estudiante podrá complementar o corregir los trabajos faltantes en la convocatoria de Septiembre (hasta el 15 de Septiembre).**

**Además de la evaluación continua por trabajos, el Equipo Docente realizará, una prueba final por videoconferencia con cada estudiante para verificar la autoría de los trabajos. Es imprescindible superar dicha prueba para aprobar la asignatura.**

**Si se supera dicha prueba, la calificación final de la asignatura será entonces:**

**Calificación final de la asignatura =  $0.9 * (\text{calificación evaluación continua}) + 0.1 * (\text{calificación de la prueba final})$**

**Esta calificación debe ser igual o superior a 5 puntos para aprobar la asignatura.**

**Los criterios de evaluación y calificación son los mismos en ambas convocatorias (Junio y Septiembre).**

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

ISBN(13):9780130408907

Título:APPLIED NONLINEAR CONTROL

Autor/es:Slotine, Jean Jacques E. ; Li, Weiping ;

Editorial:PRENTICE HALL INTERNATIONAL

ISBN(13):9780130673893

Título:NONLINEAR SYSTEMS (2ª ed.)

Autor/es:Hassan K. Khalil ;

Editorial:PRENTICE HALL

ISBN(13):9780387985138

Título:NONLINEAR SYSTEMS. ANALYSIS, STABILITY AND CONTROL.

Autor/es:Shankar Sastry ;

Editorial:: SPRINGER

ISBN(13):9780691133294

Título:NONLINEAR DYNAMICAL SYSTEMS AND CONTROL (1º 2008)

Autor/es:Vijaysekhar Chellaboina ; Wassim M. Haddad ;

Editorial:PRINCETON UNIVERSITY PRESS

ISBN(13):9780898716351

Título:DIFFERENTIAL DYNAMICAL SYSTEMS (2007)

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/>



C6875E790022FD03095B83A7D6178F8A

Autor/es: Meiss, J. D. ;

Editorial: SIAM

En cada lección se dan unos apuntes y se hace una presentación grabada de la lección. Estos apuntes son suficientes para un correcto seguimiento de la asignatura. No obstante se proporciona también bibliografía complementaria que conviene estudiar para una mejor comprensión y manejo de las técnicas de diseño.

**Applied Nonlinear Control. J.J.E. Slotine and W. Li. Prentice Hall International, 1990.**

Este texto está dedicado fundamentalmente a los Sistemas No Lineales desde el punto de vista del control sin hacer excesivo uso de formalismo matemático. Dispone de ejemplos muy ilustrativos.

**Nonlinear Systems. Analysis, stability and control. S. Sastry. Springer, 1999.**

Está dedicado fundamentalmente al diseño del control, pero hace un mayor uso del formalismo matemático.

**Nonlinear Systems. H.K. Khalil. 2º Edition, Prentice Hall, 1996.**

El enfoque de este libro se sitúa en un punto intermedio de los dos anteriores.

**Differential Dynamical Systems, J. D. Meiss, SIAM, 2007**

Este libro está dedicado al análisis de los Sistemas No Lineales formalmente muy asequible, con buen número de ejemplos pero sin referencia al control.

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

A lo largo del curso se facilitará material complementario de cada uno de los temas, según los intereses de aplicación de los alumnos.

También se proporcionarán direcciones de Internet donde el alumno podrá ampliar conocimientos o ver modos alternativos de presentación de la materia o relaciones con otros temas.

## RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

Los recursos de apoyo al estudiante serán apuntes de los temas, referencias bibliográficas y problemas prácticos resueltos con Julia.

---

## IGUALDAD DE GÉNERO

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/>



C6875E790022FD03095B83A7D6178F8A

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/>



C6875E790022FD03095B83A7D6178F8A