



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

PROCESO DE
COORDINACIÓN DE LAS
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S.I Aeronáutica y del
Espacio

ANX-PR/CL/001-01

GUÍA DE APRENDIZAJE

ASIGNATURA

143005002 - Metodos De Optimizacion

PLAN DE ESTUDIOS

14TA - Master Universitario En Sistemas Del Transporte Aereo

CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2025/26 - Primer semestre

Índice

Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Conocimientos previos recomendados.....	2
4. Competencias y resultados de aprendizaje.....	2
5. Descripción de la asignatura y temario.....	3
6. Cronograma.....	9
7. Actividades y criterios de evaluación.....	11
8. Recursos didácticos.....	14
9. Otra información.....	15

1. Datos descriptivos

1.1. Datos de la asignatura

Nombre de la asignatura	143005002 - Metodos de Optimizacion
No de créditos	5 ECTS
Carácter	Obligatoria
Curso	Primer curso
Semestre	Primer semestre
Período de impartición	Septiembre-Enero
Idioma de impartición	Castellano
Titulación	14TA - Master Universitario en Sistemas del Transporte Aereo
Centro responsable de la titulación	14 - E.T.S.I. Aeronáutica Y Del Espacio
Curso académico	2025-26

2. Profesorado

2.1. Profesorado implicado en la docencia

Nombre	Despacho	Correo electrónico	Horario de tutorías *
Fco. Javier Barbas Gonzalez (Coordinador/a)	B107	franciscojavier.barbas@upm. es	L - 12:00 - 14:00 M - 15:00 - 17:00 J - 15:00 - 17:00

* Las horas de tutoría son orientativas y pueden sufrir modificaciones. Se deberá confirmar los horarios de tutorías con el profesorado.

3. Conocimientos previos recomendados

3.1. Asignaturas previas que se recomienda haber cursado

El plan de estudios Master Universitario en Sistemas del Transporte Aereo no tiene definidas asignaturas previas recomendadas para esta asignatura.

3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

- Conocimientos sobre algoritmos y métodos numéricos.
- Conocimientos sobre: álgebra lineal; geometría; geometría diferencial; cálculo diferencial e integral.
- Conocimientos sobre estadística y optimización.
- Conocimientos sobre ecuaciones diferenciales y en derivadas parciales.

4. Competencias y resultados de aprendizaje

4.1. Competencias

CE2 - Aplicar metodologías de optimización para la definición de soluciones técnicas y operativas en el ámbito aeronáutico

CG2 - Aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en los entornos de evolución previstos en los Sistemas de Transporte Aéreo

CG4 - 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

CG6 - 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

CT3 - Gestionar la información, identificando las fuentes necesarias, los principales tipos de documentos técnicos y científicos que son de aplicación en el entorno de los Sistemas del Transporte Aéreo.

4.2. Resultados del aprendizaje

RA90 - El alumno conoce y aplica la programación dinámica para la resolución de problemas de optimización en tiempo discreto

RA88 - El alumno conoce los métodos analíticos y numéricos de resolución de problemas de optimización.

RA89 - El alumno conoce las técnicas de cálculo variacional de resolución de problemas de control óptimo

RA37 - Conocimiento, comprensión, aplicación, análisis y síntesis de los métodos aplicados a la optimización y control de sistemas

5. Descripción de la asignatura y temario

5.1. Descripción de la asignatura

INTRODUCCIÓN A LA PROGRAMACIÓN LINEAL Y NO LINEAL, CÁLCULO DE VARIACIONES Y CONTROL ÓPTIMO.

Se propone un recorrido por los aspectos fundamentales de la Programación Matemática, que permitirán plantear y resolver distintos problemas de Optimización, tanto continua como discreta. A partir de los conceptos desarrollados y de la experiencia adquirida se podrá alcanzar el pleno conocimiento de los modelo y de las metodologías de resolución que, continuamente, van apareciendo publicadas en las principales revistas técnicas.

1.- Programación (optimización) lineal y no lineal

A) Programación no lineal (PNL)

Se plantea la resolución del problema de optimización no lineal, inicialmente sin restricciones y se avanza al más usual problema restringido. Se formularán las condiciones de optimización convexa.

La práctica de los métodos de resolución del problema sin restricciones es la pieza básica que se utilizará para cualquier otro problema, por lo que además de la solución analítica, se proponen dos métodos clásicos y básicos: los métodos de tipo gradiente y los métodos tipo Newton. Se profundizará incluyendo los métodos de gradiente conjugado, por una parte, y los métodos tipo Boyden por otro.

El problema restringido se plantea a partir de la formulación matemática clásica, haciendo hincapié en la interpretación de los multiplicadores de Lagrange y de las condiciones de optimalidad de la solución.

Las ecuaciones de Karush-Khun-Tucker serían el punto culminante del estudio analítico de un problema de optimización.

Se formulan dos métodos heurísticos de búsqueda local de soluciones los métodos de penalización (Penalty) y de barrera (Barrier) que se aplican tanto en problemas lineales como no lineales.

Se considera el problema de optimización multiobjetivo limitado a espacios Euclidianos de dimensión finita. Se definirá la Pareto optimalidad y el conjunto de puntos de la frontera de Pareto. Se formularán las condiciones necesarias de Fritz-John. Se resolverán diversos casos utilizando las funciones definidas en Matlab.

B) Programación lineal, entera y mixta (PL)

Se presenta la modelización de algunos problemas característicos de Programación lineal: Transporte, Transbordo, Asignación y de Programación binaria pura BIP: Mochila, Recubrimiento, Empaquetado, Partición, y Viajante.

La resolución de los problemas se realizará aplicando los métodos clásicos utilizando Matlab.

C) Optimización Multiobjetivo (MO)

Se introducen los conceptos básicos de optimización MO: optimalidad de Pareto, dominancia de soluciones, frente de Pareto. Se propondrán como solución la aproximación mediante sumas ponderadas y la aplicación de algoritmos heurísticos. La resolución de los problemas se realizará aplicando los métodos implementados en Matlab.

2.- Cálculo de Variaciones y Control Óptimo

El Objetivo del Control Óptimo (CO) es determinar las señales de control que hagan que un proceso (plant) satisfaga alguna restricción física (constraints) y al mismo tiempo optimice un criterio (cost function)

A lo largo de este segundo bloque se formularán los modelos de control óptimo continuo de Lagrange, Meyer y Bolza. Estos modelos se resuelven aplicando el Cálculo Variacional, es decir, determinando el óptimo del funcional.

Se plantearán y resolverán las ecuaciones de EULER-LAGRANGE, condiciones necesarias de óptimo de distintos modelos y se formularán y aplicarán a la resolución de problemas las distintas condiciones de transversalidad que aparecen en función de las condiciones de frontera.

3.- Programación Dinámica

La Programación Dinámica (PD) se define como la optimización gradual (multistage: un número finito de veces se toma una decisión) y discreta (se elige entre un número finito de decisiones) en base a algún criterio de optimización. Se define el principio de

Para introducir el concepto básico de la PD que es el Principio de Optimalidad, se comienza en tiempo discreto y se resuelve el problema de rutas óptimas en un grafo mediante Programación Dinámica.

Avanzando en las aplicaciones de la PD a la optimización, se formula y resuelve el problema de Control Óptimo de un Sistema en Tiempo Discreto.

Para concluir el curso se aplica el Principio de Optimalidad en tiempo continuo al problema de Control Óptimo.

Las condiciones necesarias del problema de Control Óptimo discreto en tiempo continuo se formulan mediante la Ecuación HAMILTON-JACOBI-BELMAN y se demuestra la equivalencia con las ecuaciones de EULER-LAGRANGE obtenidas al resolver el mismo problema mediante Cálculo Variacional.

5.2. Temario de la asignatura

1. BLOQUE TEMÁTICO 1 OPTIMIZACIÓN LINEAL Y NO LINEAL

1.1. INTRODUCCIÓN PROGRAMACIÓN NO LINEAL

1.1.1. Optimización

1.1.2. Función Objetivo

1.1.3. Restricciones

1.1.4. Funciones y conjuntos convexos

1.2. OPTIMIZACIÓN NO LINEAL SIN RESTRICCIONES.

1.2.1. Condiciones de optimalidad

1.2.2. Métodos del tipo gradiente

1.2.3. Método de Newton

1.2.4. Método del gradiente conjugado

1.2.5. Métodos dw tipo Broyden

1.3. OPTIMIZACIÓN NO LINEAL CON RESTRICCIONES

1.3.1. Multiplicadores de Lagrange

1.3.2. Condiciones de Karush-Kuhn-Tucker

1.4. PROGRAMACIÓN LINEAL

1.4.1. Introducción y nomenclatura

1.4.2. Método SIMPLEX

1.4.3. Problemas básicos de Programación Lineal Entera Mixta. Algoritmo de Ramificación y Acotación.

1.4.4. Modelado en Programación Lineal y Entera.

1.5. OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO

1.5.1. Introducción, optimalidad de Pareto, dominancia y frente de Pareto.

1.5.1.1. Aproximación a la solución por suma ponderada. Métodos heurísticos.

2. CÁLCULO DE VARIACIONES Y CONTROL ÓPTIMO

2.1. INTRODUCCIÓN Y MODELO BÁSICO

2.1.1. Conceptos básicos

2.1.2. Óptimos de una función y de un funcional

2.1.3. Problema básico variacional

2.1.4. Ecuación de Euler-Lagrange

2.1.5. Diferentes casos de la ecuación de Euler-Lagrange

2.1.6. Extremos de funcionales con restricciones

2.2. APROXIMACIÓN VARIACIONAL AL CONTROL ÓPTIMO

2.2.1. Problemas de coste terminal

2.2.2. Diferentes tipos de sistemas a controlar

2.2.3. Condiciones suficientes de óptimo

2.2.4. Procedimiento de Pontryagin

2.3. APLICACIÓN DE LA APROXIMACIÓN VARIACIONAL

2.3.1. Optimización de un funcional sin restricciones

2.3.2. Optimización de un funcional con restricciones

2.3.3. Control Óptimo con formulación de Lagrange

2.3.4. Control Óptimo con formulación Hamiltoniana: principio de Pontryagin

3. PROGRAMACIÓN DINÁMICA

3.1. PROGRAMACIÓN DINÁMICA COMO METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN

3.1.1. Problema básico

3.1.2. Principio de optimalidad

3.1.3. Problema determinista

3.1.4. Algoritmo general de Programación Dinámica

3.2. PROGRAMACIÓN DINÁMICA APLICADA A PROBLEMAS EN TIEMPO DISCRETO

3.2.1. Problema determinista discreto

3.2.2. Algoritmo de caminos mínimos regresivo

3.2.3. Algoritmo de caminos mínimos progresivo

3.2.4. Ejemplos de resolución de problemas mediante caminos mínimos

3.3. PROGRAMACIÓN DINÁMICA APLICADA AL CONTROL ÓPTIMO EN TIEMPO CONTINUO

3.3.1. Problema básico. Ejemplos

3.3.2. Relación con el Cálculo de Variaciones

3.3.3. La ecuación de Hamilton-Jacobi-Bellman

3.3.4. La ecuación H-J-B como condición suficiente de óptimo

6. Cronograma

6.1. Cronograma de la asignatura *

Sem	Actividad tipo 1	Actividad tipo 2	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	Tema 0 Introducción Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral MATLAB: Descripción. Aplicaciones de MATLAB útiles en la resolución de Problemas de Optimización Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio			
2	Tema 0 Introducción Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral MATLAB: Descripción. Aplicaciones de MATLAB útiles en la resolución de Problemas de Optimización Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
3	Tema 1.1 teoría y problemas Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
4	Tema 1.2 teoría y problemas Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			Entrega de scripts de Programación No Lineal 1 TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva No presencial Duración: 02:00
5	Tema 1.3 teoría y problemas Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Propuesta de trabajo en grupo Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas			
6	Tema 1.4 teoría y ejemplos Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			Entrega de scripts de Programación No Lineal 2 TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva No presencial Duración: 02:00

7	Tema 1.5 teoría y ejemplos Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
8	Tema 2.1 teoría y problemas Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			Entrega de Propuesta de Trabajo en grupo PROGRAMACIÓN NO LINEAL TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación Progresiva No presencial Duración: 02:00
9	Tema 2.2 teoría y problemas Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			Entrega de scripts de Programación Lineal TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva No presencial Duración: 02:00
10	Desarrollo del Trabajo en Grupo Duración: 04:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas			
11	Tema 2.3 teoría y problemas Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			Entrega de trabajo en grupo PROGRAMACIÓN NO LINEAL TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación Progresiva No presencial Duración: 04:00
12	EXAMEN PARCIAL CONTROL ÓPTIMO Duración: 02:00 OT: Otras actividades formativas / Evaluación Desarrollo del Trabajo en Grupo Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas			EXAMEN PARCIAL Control Óptimo EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Progresiva Presencial Duración: 02:00
13	Tema 3.1 teoría y problemas Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
14	Tema 3.2 teoría y problemas Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
15	Tema 3.3 teoría y problemas Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			Entrega de problemas resueltos de Programación Dinámica TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva No presencial Duración: 04:00
16				EXAMEN FINAL ORDINARIO Prueba de PNL 30%, PL 20%, CO 30% y PD 20% EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Global Presencial Duración: 02:30
17				

Para el cálculo de los valores totales, se estima que por cada crédito ECTS el alumno dedicará dependiendo del plan de estudios, entre 26 y 27 horas de trabajo presencial y no presencial.

7. Actividades y criterios de evaluación

7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

7.1.1. Evaluación (progresiva)

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
4	Entrega de scripts de Programación No Lineal 1	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	10%	5 / 10	CE2 CG2 CG6
6	Entrega de scripts de Programación No Lineal 2	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	10%	5 / 10	CG2 CG6 CE2
8	Entrega de Propuesta de Trabajo en grupo PROGRAMACIÓN NO LINEAL	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	02:00	5%	5 / 10	CT3
9	Entrega de scripts de Programación Lineal	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	10%	5 / 10	CG2 CE2 CG6
11	Entrega de trabajo en grupo PROGRAMACIÓN NO LINEAL	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	04:00	15%	5 / 10	CG2 CG4 CG6 CT3 CE2
12	EXAMEN PARCIAL Control Óptimo	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	30%	3 / 10	CG2 CG4 CE2
15	Entrega de problemas resueltos de Programación Dinámica	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	04:00	20%	5 / 10	CG2 CE2 CG6

7.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
-----	-------------	-----------	------	----------	-----------------	-------------	------------------------

16	EXAMEN FINAL ORDINARIO Prueba de PNL 30%, PL 20%, CO 30% y PD 20%	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:30	100%	5 / 10	CG2 CG4 CG6 CT3 CE2
----	---	--	------------	-------	------	--------	---------------------------------

7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
EXAMEN FINAL EXTRAORDINARIO Prueba de PNL 30%, PL 20%, CO 30% y PD 20%	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:30	100%	5 / 10	CG2 CG4 CG6 CT3 CE2

7.2. Criterios de evaluación

EVALUACIÓN PROGRESIVA

BLOQUE Programación Lineal y No Lineal (50% de peso)

Scripts de Programación No Lineal (20 % de la calificación final)

Trabajo individual que consiste en resolver problemas clásicos de Programación No Lineal, escalar, con y sin restricciones, utilizando scripts y funciones definidas en Matlab. Se definirán tres problemas que deberán ser entregados en la fecha límite señalada

Scripts de Programación Lineal (10 % de la calificación final)

Trabajo individual que consiste en resolver un problema clásico de Programación Lineal, Entera y Mixta utilizando scripts y funciones definidas en Matlab.

Trabajo sobre Programación No Lineal o Lineal (20 % de la calificación final)

Trabajo en grupo que consiste en formular matemáticamente y resolver un problema de optimización del sector aeronáutico. Es preferible que el tema de trabajo sea una propuesta del grupo, a partir de la experiencia profesional de los miembros del grupo. El grupo entregará un documento que incluya la formulación matemática y la resolución del problema. Se deberán adjuntar los archivos utilizados (scripts de Matlab, hojas de cálculo,...) para aplicar los métodos elegidos en la resolución del problema.

BLOQUE Control Óptimo (30% de peso)

Examen Parcial de Control Óptimo (30 % de la calificación final)

Examen escrito presencial que consiste en resolver analíticamente dos problemas de Cálculo de Variaciones aplicado al Control Óptimo. Los alumnos podrán utilizar las referencias bibliográficas que consideren convenientes.

BLOQUE Programación Dinámica (20% de peso)

Problemas de Programación Dinámica (20% de la calificación final)

Trabajo individual que consiste en resolver analíticamente dos problemas de PD aplicada al Control Óptimo de sistemas. Los alumnos deberán entregar el documento con los problemas resueltos incluyendo los archivos utilizados (scripts de Matlab, hojas de cálculo,...) para aplicar los métodos elegidos en la resolución del problema.

Se consideran bloques liberados aquellos cuya calificación sea mayor o igual a cinco.

El alumnado que no supere la asignatura por evaluación progresiva podrá presentarse en el examen final de las convocatorias ordinaria o extraordinaria solo a los BLOQUES que no tenga aprobados.

EVALUACIÓN SÓLO POR PRUEBA FINAL

Examen escrito dividido en tres partes: Programación Lineal y No Lineal (50 % peso), Control Óptimo (30 % peso), Programación Dinámica (20 % peso)

8. Recursos didácticos

8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Bertsekas, Dimitri. Nonlinear Programming. Nashua, NH: Athena Scientific, 1999. ISBN: 9781886529007.	Bibliografía	
Pedregal, Pablo. Introduction to Optimization. Springer, 2003. ISBN: 0-387-40398-1	Bibliografía	
Bellman, Richard. Dynamic Programming. New York, NY: Dover, 2003. ISBN: 9780486428093.	Bibliografía	
Naidu, Desineni S. Optimal Control System. CRC Press LLC, 2003. ISBN: 0-8493-0892-5	Bibliografía	
Espacio MOODLE de la asignatura	Recursos web	En esta plataforma se incluyen documentos docentes básicos de la asignatura, enlaces, test de autoevaluación, ejercicios propuestos y resueltos, etc. y se utiliza como método de comunicación de avisos y solución de dudas.

9. Otra información

9.1. Otra información sobre la asignatura

La asignatura se relaciona con el ODS8 Trabajo decente y crecimiento económico, insistiendo en la resolución de problemas de optimización con el objetivo concurrente 8.2 Lograr niveles más elevados de productividad económica.

También se relaciona con el ODS9 Industria, innovación e infraestructuras, ya que esta asignatura básica contribuye a alcanzar el objetivo 9.5 Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica industrial.