

22-23

MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA DE SISTEMAS Y DE  
CONTROL

# GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA



## INTRODUCCIÓN A LA PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA

CÓDIGO 31104021

UNED

22-23

INTRODUCCIÓN A LA PROGRAMACIÓN  
MATEMÁTICA  
CÓDIGO 31104021

# 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	INTRODUCCIÓN A LA PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA
Código	31104021
Curso académico	2022/2023
Título en que se imparte	MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y DE CONTROL
Tipo	CONTENIDOS
Nº ETCS	6
Horas	150.0
Periodo	SEMESTRE 1
Idiomas en que se imparte	CASTELLANO

## PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

La programación matemática es una potente técnica de optimización utilizada en el proceso de toma de decisiones de numerosas organizaciones. Como otras ramas de la ciencia y la tecnología, la programación matemática se sirve de modelos para representar aquellos aspectos de la realidad que tienen influencia en su ámbito de interés, en este caso las decisiones que optimizan el funcionamiento de un sistema. Tres son los procesos principales que llevan al diseño de un modelo de optimización. El primero y más decisivo consiste en la identificación de las posibles decisiones que pueden tomarse en el sistema y su representación en forma de variables: las variables de decisión. Normalmente estas variables son de carácter cuantitativo, aunque también son posibles variables cualitativas que determinan una elección entre varias posibles. El segundo proceso consiste en la especificación del conjunto de valores de las variables de decisión que resultan admisibles en el sistema, es decir, el conjunto de restricciones que deben cumplir dichas variables. Este se determina teniendo presente la naturaleza física de los elementos del sistema y sus interrelaciones. El tercer proceso consiste en desarrollar un modelo de costes del sistema, es decir, determinar el coste/beneficio asociado a cada decisión admisible. Esto supone diseñar una función objetivo que asigne a cada conjunto posible de valores de las variables de decisión su valor de coste/beneficio. Los tres procesos anteriores junto con los datos concretos del sistema dan lugar al modelo de optimización.

El propósito de la asignatura Introducción a la Programación Matemática consiste en analizar métodos y procedimientos que permitan identificar, especificar y resolver problemas de optimización de tipo lineal con variables de decisión continuas y discretas. La asignatura no requiere de conocimientos específicos previos en la materia, todos los conocimientos se adquieren durante el curso. Comienza con la identificación de problemas sencillos de programación matemática y su representación utilizando lenguajes de modelado para este tipo de problemas (OPL, OML, AMPL, GAMS, LINGO, etc.). Después se introducen los principales métodos de resolución de problemas lineales continuos y enteros, métodos que operan en el interior de los lenguajes de modelado. Finalmente se analizan y resuelven problemas de optimización reales que aparecen en los entornos industriales.

Introducción a la Programación Matemática es, al igual que el resto de asignaturas que componen el Máster en Ingeniería de Sistemas y de Control, una asignatura en sí misma, que junto con la asignatura Optimización Heurística y Aplicaciones constituye la materia de Optimización, dentro del módulo I de Matemáticas y Computación.

Se trata de una asignatura con una importante proyección en todos los ámbitos industriales en los que se plantean procesos de utilización óptima de recursos. También puede servir de apoyo a otras materias del Master donde surgen este tipo de problemas como son la robótica y el control.

El carácter de esta asignatura es teórico-práctico, con 6 créditos ETCS repartidos en tres bloques, uno de modelado de problemas, otro dedicado a los métodos de optimización y el último dedicado a las aplicaciones de tipo industrial. En todos ellos se proponen y suministran abundantes ejemplos de aplicación a todos los niveles.

## REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA

Además de los necesarios para el acceso a los estudios oficiales de postgrado se requieren conocimientos básicos de álgebra lineal y programación.

## EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos	JOSE SANCHEZ MORENO
Correo Electrónico	jsanchez@dia.uned.es
Teléfono	91398-7146
Facultad	ESCUELA TÉCN.SUP INGENIERÍA INFORMÁTICA
Departamento	INFORMÁTICA Y AUTOMÁTICA

## PROFESOR EXTERNO DE MASTER UNIVERSITARIO

Nombre y Apellidos	JOSE J. RUZ ORTIZ
Correo Electrónico	jruzortiz@invi.uned.es
Nombre y Apellidos	RAFAEL DEL VADO VIRSEDA
Correo Electrónico	rdelvado@invi.uned.es

## HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

La asignatura estará virtualizada por la UNED, por lo que los alumnos poseen un excelente medio de comunicación con el profesorado de la asignatura, tanto para la resolución de dudas como para la orientación en la materia.

En cualquier caso, el acceso a los profesores para la resolución de dudas y cuestiones relacionadas con la materia puede realizarse a través de las tutorías que se establecen al respecto, tanto de forma presencial como a través del correo electrónico. La relación de profesores de la materia es la que se proporciona a continuación:

### **D. José Jaime Ruz Ortiz**

Dpt. Arquitectura de Computadores y Automática

C/ Prof. José García Santesmases, s/n

Facultad de Informática

Universidad Complutense

28040 Madrid

Tel.: 91 394 76 01

Fax: 91 394 75 47

e-mail: [jjruz@dacya.ucm.es](mailto:jjruz@dacya.ucm.es)

web: <http://www.fdi.ucm.es/profesor/jjruz/PP/>

El horario de tutorías será de 11 a 12 horas los días de la semana Lunes, Martes, Miércoles y Jueves.

## 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 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**

RA1: Identificar problemas de optimización matemática

RA2: Resolver problemas de optimización matemática utilizando las herramientas de modelado y ejecución disponibles actualmente en el mercado.

RA3: Conocer el comportamiento de los algoritmos que operan en los resolutores que utilizan los lenguajes de modelado para utilizar las alternativas paramétricas que mejor se ajustan a cada problema concreto.

RA4: Analizar la sensibilidad de los modelos diseñados frente a cambios en los valores de los datos de entrada más significativos.

RA5: Poner de manifiesto con aplicaciones industriales reales el alcance de los métodos que proporciona la programación matemática.

## **CONTENIDOS**

### **Resumen del contenido**

La asignatura comienza con la identificación de problemas sencillos de programación matemática y su representación utilizando lenguajes de modelado para este tipo de problemas (OPL, OML, AMPL, GAMS, LINGO, etc.). Después se introducen los principales métodos de resolución de problemas lineales continuos y enteros, métodos que operan en el interior de los lenguajes de modelado. Finalmente se analizan y resuelven problemas de optimización reales que aparecen en los entornos industriales. Los contenidos anteriores se organizan en tres partes con tres temas cada parte:

#### ***Parte I: Modelado de problemas de optimización lineal.***

Tema 1: Modelos lineales de optimización con variables continuas.

Tema 2: Modelos lineales de optimización con variables enteras.

Tema 3: Lenguajes de modelado de problemas de optimización (OPL, OML, AMPL,...)

**Parte II: Métodos de resolución de problemas lineales continuos y enteros.**

Tema 4: Programación lineal con variables continuas: método del Simplex.

Tema 5: Dualidad y sensibilidad de los modelos lineales

Tema 6: Programación entera: métodos de bifurcación-acotación y planos de corte.

**Parte III: Aplicaciones industriales de la programación matemática.**

Tema 7: Optimización de redes logísticas.

Tema 8: Optimización de procesos industriales.

Tema 9: Aproximación lineal de problemas no convexos y no lineales

Tema 1: Modelos lineales de optimización con variables continuas.

**Contenidos.**

1. Formulación de un modelo de programación lineal.
2. Propiedades del modelo lineal.
3. Interpretación económica del problema de programación lineal.
4. Introducción al lenguaje de modelado OPL (*Optimization Programming Language*).
5. Representación gráfica de los problemas de programación lineal.
6. Clasificación de los problemas de programación lineal según el tipo de solución.
7. Formulación matricial del problema de programación lineal.
8. Formulación de algunos problemas prácticos de programación lineal.

**Introducción.**

El objetivo de un modelo matemático es reproducir la realidad de la forma más fiel posible a fin de entender cómo se comporta y poder obtener respuestas a determinadas acciones. La optimización lineal se sirve de modelos para representar aquellos aspectos de la realidad que tienen influencia en las decisiones que optimizan el funcionamiento de un sistema. Tres son las etapas en el establecimiento de un modelo de optimización lineal:

- 1) Identificación de las posibles decisiones que pueden tomarse en el sistema y su representación en forma de variables: las variables de decisión.
- 2) Especificación del conjunto de valores de las variables de decisión que resultan admisibles en el sistema, es decir, el conjunto de restricciones que deben cumplir dichas variables.
- 3) Desarrollo de un modelo de costes del sistema, es decir, determinar el coste/beneficio asociado a cada decisión admisible.

**Resultados de aprendizaje.**

- Aprender a formular el modelo de un problema de programación lineal.
- Conocer las propiedades de los modelos de programación lineal.
- Conocer la expresión de un modelo de programación lineal con lenguajes de modelado.
- Conocer los elementos básicos del lenguaje de modelado OPL.

- Saber los tipos de soluciones que pueden tener los problemas de programación lineal.
- Modelar matemáticamente y resolver en OPL varios problemas de programación lineal.

**Nivel de dificultad.**

Este tema de carácter general de la programación matemática no tiene especial dificultad para un alumno con conocimientos básicos de álgebra lineal y programación.

Tema 2: Modelos lineales de optimización con variables enteras.

**Contenidos.**

1. Dominios de aplicación de la Programación Entera.
2. Variables indicadoras: control del valor de una variable continua.
3. Modelado de la disyunción entre dos restricciones lineales utilizando variables binarias.
4. Conversión de variables enteras en binarias.
5. Expresión del producto de dos variables binarias.
6. Expresión del producto de una variable binaria por otra continua no negativa.
7. Variables indicadoras: control de la imposición de una restricción lineal.
8. Representación de operadores lógicos.

**Introducción.**

En muchos problemas de programación lineal sólo tienen sentido aquellas soluciones en las que todas o algunas de las variables de decisión toman valores enteros. Este tipo de problema se denomina en general de programación lineal entera. Si todas las variables del problema deben ser enteras se habla de programación entera pura, pero si sólo algunas deben ser enteras y las restantes continuas se habla de programación lineal entera-mixta. Cuando las variables enteras están restringidas a los dos valores 0-1, se denominan variables binarias, y el problema correspondiente problema binario. La utilización de variables enteras en general y binarias en particular amplía notablemente las posibilidades de modelado de la programación lineal, haciendo posible la disyunción de restricciones, la implicación lógica entre restricciones y en general la incorporación al modelo de ciertos comportamientos no lineales de la realidad. En este tema analizamos algunas de las nuevas posibilidades que introducen las variables enteras desde el punto de vista del modelado de problemas. También estudiamos su expresión en el lenguaje OPL.

**Resultados de aprendizaje.**

- Conocer la programación lineal entera y los dominios de aplicación.
- Aprender a formular el modelo de un problema de programación lineal entera.
- Modelar relaciones lógicas entre restricciones con variables binarias.
- Expresar un problema entero general como un problema binario.
- Modelar y resolver en OPL varios problemas típicos de programación lineal entera.
- Expresar algunos comportamientos no lineales como problemas enteros.



**Nivel de dificultad.**

Este tema tiene cierto grado de dificultad en la expresión de las relaciones lógicas entre restricciones utilizando variables binarias.

Tema 3: Lenguajes de modelado de problemas de optimización.

**Contenidos.**

1. Alternativas para el desarrollo de modelos de optimización.
2. Lenguajes de modelado.
3. Entorno de desarrollo para OPL.
4. Perfil operativo de la programación con restricciones (CP).
5. Perfil operativo de la programación lineal continua.
6. Estructura general de un programa OPL.
7. Parámetros formales.
8. Conexión de OPL con una hoja de cálculo.
9. Ejemplos de utilización de OPL.

**Introducción.**

Varias son las alternativas que se presentan a la hora de implementar un modelo de optimización lineal en un computador. Cada una presenta sus ventajas e inconvenientes, por lo que la elección deberá hacerse en cada caso en función del uso que se le vaya a dar al modelo. Podemos señalar cuatro alternativas principales: 1) Hojas de cálculo con resolutor asociado, 2) Entornos de cálculo numérico y/o simbólico, 3) Biblioteca de algoritmos de optimización utilizables desde un lenguaje de programación de propósito general (Java, Fortran, C#, etc.) y 4) Lenguajes algebraicos de modelado. En este curso, por motivos de eficiencia, trabajaremos exclusivamente con la cuarta alternativa de los lenguajes de modelado, y utilizaremos específicamente el lenguaje OPL. Se trata de un lenguaje moderno con abundantes recursos expresivos, un resolutor muy potente, CPLEX, con amplias facilidades de conexión a diferentes fuentes de datos (bases de datos, hojas de cálculo, archivos de texto) y con la posibilidad de integración directa de los modelos diseñados en prácticamente todos los entornos modernos de desarrollo software.

**Resultados de aprendizaje.**

- Conocer las diferentes alternativas para expresar y ejecutar problemas de optimización.
- Estudiar la estructura general de un lenguaje de modelado a través de OPL.
- Conocer los principios operativos de los tipos de problemas expresables en OPL.
- Utilizar las construcciones iterativas y operadores de agregación.
- Intercambiar datos entre OPL y una hoja de cálculo Excel.

**Nivel de dificultad.**

Este tema suele tener dificultad para los alumnos que sólo tengan nociones de programación de tipo imperativo, ya que se introducen lenguajes algebraicos de tipo declarativo..

Tema 4: Programación lineal con variables continuas: método del Simplex.

### **Contenidos.**

1. Resolución gráfica de problemas lineales.
2. Formas equivalentes de un problema de programación lineal.
3. Forma canónica y estándar de un problema de programación lineal.
4. Conceptos básicos de programación lineal.
5. Correspondencia entre los puntos extremos y las soluciones básicas factibles.
6. Búsqueda exhaustiva de soluciones básicas.
7. Método del Simplex.

### **Introducción.**

En este tema abordamos la forma de resolver problemas de programación lineal continua. El objetivo fundamental es entender la naturaleza del problema y el perfil computacional a que dan lugar estos métodos. Desde un punto de vista práctico los procedimientos manuales de resolución no tienen mucho interés porque hoy día existen abundantes herramientas informáticas que implementan de manera muy eficiente estos procedimientos. Aunque el tema se centra fundamentalmente en el algoritmo del Simplex, propuesto por Dantzig en 1947, comienza con una introducción a los métodos de resolución gráficos, que resultan muy intuitivos para entender la correspondencia entre la versión puramente algebraica de estos problemas y su representación geométrica. Después se introduce el concepto de solución básica factible, que juega un papel fundamental en la resolución de los problemas de programación lineal, ya que una solución óptima será siempre una solución básica factible y además porque el número de soluciones básicas factibles de un problema lineal continuo es finito, lo que acota considerablemente el procedimiento de búsqueda de la solución. A continuación se estudian los fundamentos teóricos del Simplex y los criterios de operación que dan lugar a una versión algebraica del algoritmo. Después se analiza la versión tabular de este algoritmo que simplifica su utilización manual. Finalmente introducimos los métodos que se utilizan para obtener una solución básica factible inicial para el método del Simplex.

### **Resultados de aprendizaje**

- Resolver de forma gráfica un problema de programación lineal continuo.
- Estudiar las formas equivalentes de representación de los problemas lineales.
- Aprender los conceptos de álgebra para resolver programas lineales continuos.
- Resolver un problema de programación lineal por enumeración de soluciones básicas.
- Resolver un problema lineal utilizando la versión algebraica del simplex.

- Resolver un problema de programación lineal utilizando la versión tabular del simplex.

**Nivel de dificultad.**

Este tema no tiene especial dificultad para un alumno con conocimientos básicos de álgebra lineal.

Tema 5: Dualidad y sensibilidad de los modelos lineales.

**Contenidos.**

1. Sensibilidad en la programación lineal.
2. Dualidad en la programación lineal.
3. Obtención del problema dual a partir del primal.
4. Teoremas de dualidad.
5. Ejemplos.

**Introducción.**

El análisis de sensibilidad para los modelos de programación lineal tiene por objetivo identificar el impacto sobre la solución del problema original tras determinadas modificaciones en los parámetros del problema, sin tener que resolver el problema nuevamente cada vez que se modifica uno de tales parámetros.

**Resultados de aprendizaje.**

- Conocer el concepto de sensibilidad en la programación lineal.
- Conocer el concepto de dualidad en la programación lineal.
- Aprender a formular el modelo del problema dual asociado al primal.
- Establecer la relación entre las sensibilidades del problema primal y las soluciones del dual.

**Nivel de dificultad.**

Este tema requiere conocimientos básicos de álgebra lineal y una buena comprensión del tema anterior.

Tema 6: Programación entera: bifurcación y planos de corte.

**Contenidos.**

1. Características generales de los problemas de programación lineal entera.
2. Método de resolución de problemas enteros mediante bifurcación y acotación.
3. Técnicas de pre-procesamiento de problemas enteros.
4. Generación de planos de corte para problemas binarios.
5. Método híbrido de bifurcación y planos de corte.

**Introducción.**

En muchos problemas de programación lineal sólo tienen sentido aquellas soluciones en las que todas o algunas de las variables de decisión toman valores enteros. Estos problemas proporcionan un marco de modelado flexible y eficiente para formular y resolver muchos problemas de ingeniería. Este tema proporciona una introducción a los principales algoritmos

para obtener la solución a este tipo de problemas. En concreto, se estudian los métodos de bifurcación y acotación y el de los planos de corte. En el primero la solución original se obtiene resolviendo una secuencia ordenada de problemas que se obtienen relajando las restricciones de integralidad y añadiendo restricciones adicionales. En el segundo se resuelve el problema original relajado en el que se incluyen restricciones adicionales, denominadas planos de corte, que reducen la región factible sin excluir soluciones que cumplen las condiciones de integralidad.

### **Resultados de aprendizaje.**

- Conocer las principales técnicas de programación entera.
- Estudiar el método de bifurcación y acotación.
- Analizar las diferentes estrategias de búsqueda en el algoritmo bifurcación y acotación.
- Utilizar el algoritmo para anterior para resolver pequeños problemas de programación entera.
- Manejar algunas técnicas de pre-procesamiento para problemas binarios.
- Generar planos de corte en problemas de programación lineal entera binarios.
- Conocer el método de bifurcación y planos de corte (*branch @ cut*).

### **Nivel de dificultad.**

Este tema requiere conocimientos básicos de álgebra lineal, una buena comprensión de los dos temas anteriores, y conocimientos básicos de búsquedas heurísticas.

## **Tema 7: Optimización de redes logísticas.**

### **Contenidos.**

1. Redes logísticas: niveles en la gestión de una red logística.
2. Redes de transporte.
3. Redes de conducción de fluidos.
4. Modelo lineal de una red de fluidos: dimensión espacial.
5. Modelo lineal de una red de fluidos: dimensión temporal.

### **Introducción.**

La logística se ocupa del proceso de planificación, implementación y control del flujo eficiente de mercancías, energía o información desde los puntos donde se originan hasta los puntos donde se consumen. Una red logística podemos verla como un grafo compuesto por nodos y arcos. Los nodos representan los agentes de una organización (factorías, almacenes, centros de distribución, clientes, etc.), y los arcos son los diferentes medios de transporte entre nodos, por ejemplo trenes, barcos, gasoductos, poliductos, etc. En términos muy generales podemos decir que una red logística adquiere productos primarios (energía, información, materias primas, etc.), los transforma en productos finales y los distribuye a sus clientes. La gestión de una red logística consiste en tomar las decisiones que optimizan su funcionamiento. La función de óptimo se corresponde generalmente con una función de

coste (minimización de gasto y maximización de beneficios) aunque pueden existir términos en esta función relacionados con otros aspectos del funcionamiento, como por ejemplo, la garantía de niveles de seguridad de los stocks. Un sistema de decisión logística parte del conocimiento de las alternativas de transporte y transformación de la red y determina el subconjunto que satisface unos objetivos preestablecidos. Estos sistemas de decisión se plantean frecuentemente como problemas de optimización matemática y serán objeto de estudio en este tema.

### **Resultados de aprendizaje.**

- Conocer el planteamiento de la gestión de una red de transporte logístico como un problema de optimización matemática.
- Estudiar redes logísticas de transporte.
- Estudiar redes logísticas de conducción de fluidos.
- Analizar y plantear algunos ejemplos.

### **Nivel de dificultad.**

La dificultad principal de este tema está en la comprensión global de los objetivos que se pretenden conseguir con las redes logísticas de transporte..

Tema 8: Optimización de procesos industriales.

### **Contenidos.**

1. Problemas de planificación de la producción.
2. Planificación de la producción de electricidad en centrales térmicas.
3. Planificación de la producción de diferentes derivados en una refinería.

### **Introducción.**

La planificación de la producción en plantas de proceso es uno de los problemas más complejos e importantes para una amplia variedad de procesos industriales. Para el caso de plantas de proceso discontinuo el problema es planificar la producción sobre un horizonte de planificación discreto. Este tipo de problemas se conocen en la literatura como problemas DLSP (*Discrete Lot Sizing and Scheduling Problems*). En el caso más sencillo, un productor fabrica un artículo cuya demanda varía en el tiempo, de acuerdo con el gráfico de la figura, donde el tiempo pueden ser horas, días, semanas e incluso meses.

### **Resultados de aprendizaje.**

- Analizar ejemplos de problemas de optimización de un proceso industrial.
- Abordar un problema similar como proyecto en el que el alumno debe:
- Desarrollar un modelo matemático del mismo.
- Implementarlo mediante la herramienta ILOG OPL Studio.
- Obtener la solución óptima en un escenario concreto.
- Proponer mejoras en el modelo para contemplar un mayor número de características.

**Nivel de dificultad.**

La dificultad principal de este tema está en la comprensión de los procesos industriales que se modelan en el mismo..

Tema 9: Aproximación lineal de problemas no lineales.

**Contenidos.**

1. Programación matemática no-lineal.
2. Funciones separable.
3. Restricción SOS1 y SOS2.
4. Modelado de la función lineal por tramos (*piecewise*).
5. Función lineal de dos o más variables.
6. Ejemplo de aproximación lineal de 2 variables.

**Introducción**

Los problemas de programación lineal son muy comunes y cubren un amplio rango de aplicaciones. Sin embargo, en la vida real aparecen frecuentemente problemas que no tienen comportamientos lineales. Cuando alguna de las restricciones, la función objetivo, o ambos, son no lineales, se dice que se trata de un *problema de programación no lineal*. Los modelos de programación no-lineal son más complejos de resolver que sus análogos lineales. Sin embargo muchos de ellos es posible resolverlos mediante aproximaciones lineales.

**Resultados de aprendizaje**

- Conocer el concepto de convexidad aplicados a la función objetivo y a las restricciones de un problema de optimización.
- Utilizar el concepto de programación separable.
- Definir e implementar las restricciones sobre conjuntos ordenados de variables SOS1 y SOS2.
- Aproximar una función no-lineal de una variable por una lineal a tramos utilizando SOS2 y/o variables binarias.
- Aproximar una función no-lineal de dos variables utilizando SOS2.

**Nivel de dificultad.**

Al ser un tema introductorio al modelado de sistemas no lineales no presenta ninguna dificultad especial...

## METODOLOGÍA

**Trabajos teóricos:** se proporciona al alumno los contenidos del curso distribuidos por temas. En cada tema se desarrollan los aspectos teóricos fundamentales de una materia del curso, indicando en su caso la fuente bibliográfica de referencia. Se sugieren una serie de ejercicios que el alumno puede realizar para someterlos a evaluación a través de los recursos disponibles en la UNED o por cualquier otro procedimiento de comunicación on-line.

**Actividades prácticas:** el material suministrado se acompaña de una serie de modelos de optimización que ilustran los conceptos a los que hacen referencia cada uno de los temas. Se recomienda al alumno la consolidación de los conceptos teóricos con el análisis y modificación de los modelos utilizando diferentes alternativas software disponibles libremente en la red. El envío de los resultados obtenidos mediante los recursos disponibles a través de la UNED, junto con los comentarios de los problemas surgidos durante su ejecución, constituye un elemento importante de evaluación de la asignatura.

**Tutorías:** se proporciona la posibilidad de consulta on-line a través de los recursos de la UNED, sin descartar la asistencia presencial para aquellos alumnos que así lo deseen en el horario establecido al efecto.

**Actividades formativas:** se proporcionará información sobre actividades que se realicen tanto dentro del master como fuera de él relacionadas con las materias del mismo. En este apartado se incluyen charlas-coloquio, conferencias, cursos, seminarios, etc. tanto de naturaleza on-line como presencial.

Los apartados anteriores de la metodología se implementan con una interacción frecuente con los alumnos a través de los diferentes medios de comunicación, como corresponde a unos estudios a distancia.

## 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

**Evaluación de los aprendizajes**

**La evaluación de esta asignatura se realizará siguiendo los criterios generales del Máster, que se complementará con las siguientes propuestas concretas:**

Resolución de ejercicios básicos prácticos propuestos y suministrados como parte del material de la asignatura para los 6 primeros temas. Se elaborará una pequeña memoria sobre los ejercicios realizados.

Realización de un trabajo práctico individual, que abordará un problema de aplicación concreta a elegir de entre los tres últimos temas de la asignatura. Se proporcionará una guía sobre propuestas de trabajos de esta naturaleza. Se elaborará una memoria final sobre el trabajo.

Para asegurar la identidad de los alumnos que han realizado los ejercicios y trabajos prácticos enviados, el equipo docente procederá a convocarlos individualmente mediante videoconferencia.

**Criterios de evaluación**

Se evaluarán los ejercicios propuestos en las 6 primeros temas con una nota máxima por ejercicio de 0,5 puntos. Los proyectos correspondientes a los temas 7 y 8 se evaluarán cada uno con una nota máxima de 3 puntos. El proyecto del tema 9 se evaluará con una nota máxima de 1 punto.

Ponderación de la prueba presencial y/o los trabajos en la nota final	Tema 1: 0,5 puntos Tema 2: 0,5 puntos Tema 3: 0,5 puntos Tema 4: 0,5 puntos Tema 5: 0,5 puntos Tema 6: 0,5 puntos Tema 7: 3 puntos Tema 8: 3 puntos Tema 9: 1 punto
Fecha aproximada de entrega	15/03/2021
Comentarios y observaciones	

**PRUEBAS DE EVALUACIÓN CONTINUA (PEC)**

¿Hay PEC? Si, PEC no presencial

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? No

Descripción

Criterios de evaluación

Ponderación en la nota final

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones



A lo largo del curso se imparten diversas conferencias, algunas directamente relacionadas con la materia objeto de estudio, y otras de carácter interdisciplinar y transversal. Dichas conferencias se anuncian convenientemente mediante los medios de difusión disponibles, resultando de interés para complementar y afianzar los contenidos de la materia.

### ¿CÓMO SE OBTIENE LA NOTA FINAL?

La calificación final de la asignatura se hará en base a los ejercicios y proyectos entregados a lo largo del curso, reservándose el profesor la posibilidad de realizar en su caso una prueba presencial, real o virtual, que le asegure que el grado de competencia adquirido por el alumno en la materia se corresponde con la calificación asignada. No obstante, para asegurar la autoría de los ejercicios y proyectos de los alumnos, el equipo docente procederá a convocarlos individualmente mediante videoconferencia. El resultado de la videoconferencia modificará la nota de los ejercicios y proyecto final escritos en un 10%.

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

ISBN(13):9780471997887

Título:MODEL BUILDING IN MATHEMATICAL PROGRAMMING

Autor/es:Williams, Paul W. ;

Editorial:: JOHN WILEY AND SONS

ISBN(13):9788480040747

Título:INVESTIGACIÓN OPERATIVA. OPTIMIZACIÓN (segunda)

Autor/es:Ríos Insua, Sixto ;

Editorial:: CENTRO DE ESTUDIOS RAMÓN ARECES [ETC.]

Se proporciona abundante material de carácter teórico-practico donde se pueden encontrar numerosos ejemplos prácticos y ejercicios resueltos elaborados por el equipo docente.

Este material estará disponible en archivos individuales de tipo pdf para cada tema en el campus virtual de la UNED, de la UCM y en la página del profesor

<http://www.fdi.ucm.es/profesor/jjruiz/>.

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

ISBN(13):9780201004649

Título:APPLIED MATHEMATICAL PROGRAMMING

Autor/es:Magnanti, Thomas L. ; Hax, Arnoldo C. ;

Editorial:ADDISON-WESLEY

Se proporciona abundante material de carácter teórico-practico donde se pueden encontrar numerosos ejemplos prácticos y ejercicios resueltos elaborados por el equipo

docente.

## RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

En el curso virtual encontrará todo el material (documentos, herramientas y presentaciones) relacionado con la asignatura.

Existen numerosos recursos electrónicos donde el alumno puede encontrar material muy abundante útil para el curso. Destacan entre otros los siguientes:

- 1) <http://www-01.ibm.com/software/websphere/products/optimization/opl-cplex-teaching-edition/>
  - 2) <http://code.msdn.microsoft.com/solverfoundation/>
  - 3) <http://www.lindo.com/>
- 

## 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.