



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE  
INGENIEROS DE MINAS  
-----

Ríos Rosas, 21  
28003 MADRID.

**DEPARTAMENTO DE**  
**MATEMÁTICA APLICADA Y MÉTODOS INFORMÁTICOS**

PROGRAMA DE LA ASIGNATURA  
***INVESTIGACIÓN OPERATIVA***

**Curso** : 4º  
**Cuatrimestre** : 1º  
**Carácter** : Optativa

**Créditos totales**  
Teóricos : 2,8  
Prácticos : 3,2

**PLAN DE ESTUDIOS 1996**

Edición 2: 2002-09-23

## INVESTIGACIÓN OPERATIVA: PROGRAMA

### a) *OBJETIVOS Y CONTENIDOS*

#### **BLOQUE 1: Introducción a la investigación operativa**

##### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 1.1 Comprender los conceptos básicos de la investigación operativa*
- 1.2 Conocer la evolución histórica de la investigación operativa*
- 1.3 Conocer los programas informáticos más usuales.*

##### CONTENIDOS

###### 1.1: NOCIONES FUNDAMENTALES

- ¿Qué es la investigación operativa?.
- Desarrollo histórico de la investigación operativa.
- Planteamiento general de un problema de optimización.
- Formación de diferentes modelos en ingeniería de minas y en gestión ambiental.

###### 1.2: PRESENTACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS

- Presentación de los programas informáticos más usuales para investigación operativa
- Introducción a la utilización del Programa “What Best!”

#### **BLOQUE 2: Métodos clásicos de optimización en ingeniería**

##### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 2.1 Conocer los resultados teóricos fundamentales de la teoría de la optimización.*
- 2.2 Aplicar la técnica de los multiplicadores de Lagrange a problemas de optimización con restricciones de tipo igualdad.*
- 2.3 Aplicar la técnica de los multiplicadores de Kuhn-Tucker a problemas de optimización con restricciones de tipo desigualdad.*

##### CONTENIDOS

###### 2.1: OPTIMIZACIÓN SIN RESTRICCIONES

- Optimización de funciones monovariantes

- Condiciones necesarias de punto extremo
- Condiciones suficientes.

– Optimización de funciones multivariantes

## 2.2: OPTIMIZACIÓN CON RESTRICCIONES DE TIPO IGUALDAD

- Solución por sustitución directa
- Solución por el método de variación de restricciones
- Solución por el método de los multiplicadores de Lagrange

- Condiciones necesarias y suficientes de optimalidad
- Interpretación económica de los multiplicadores de Lagrange

## 2.3: OPTIMIZACIÓN CON RESTRICCIONES DE TIPO DESIGUALDAD

- Restricciones activas e inactivas
- Condiciones de Kuhn-Tucker
- Calificación de las restricciones.
- Aplicaciones

# **BLOQUE 3: Aplicaciones de la programación lineal en ingeniería**

## *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 3.1 *Comprender los resultados fundamentales de la teoría de la dualidad*
- 3.2 *Aplicar análisis de sensibilidad a problemas de programación lineal.*
- 3.3 *Aplicar los algoritmos básicos para problemas lineales sobre redes de transporte*
- 3.4 *Comprender los principales algoritmos para problemas de programación entera mixta.*
- 3.5 *Aplicar el algoritmo de Gomory a un problema entero mixto*
- 3.6 *Comprender los principales algoritmos para problemas de programación 0-1*
- 3.7 *Aplicar el algoritmo de Balas a problemas de asignación de recursos.*
- 3.8 *Comprender el problema de la complejidad algorítmica.*
- 3.9 *Conocer los fundamentos de los algoritmos de punto interior*

## CONTENIDOS

### 3.1: DUALIDAD Y SENSIBILIDAD

- Conceptos fundamentales: Problema dual.
- Teoría de la dualidad; teoremas fundamentales; interpretación del problema dual
- Análisis de sensibilidad en problemas de programación lineal
- Programación lineal paramétrica.
- Programación lineal multiobjetivo.

### 3.2: PROBLEMAS EN REDES

- Conceptos fundamentales y ejemplos
- Representación de la base.

- Algoritmo del Simplex para redes.
- Ejemplos:
  - Flujo en grafos: planificación de proyectos
  - Problemas de transporte en ingeniería

### 3.3: PROGRAMACIÓN ENTERA MIXTA

- Conceptos fundamentales y ejemplos.
  - Algoritmo de Gomory.
  - Algoritmo de rama y acotación (“Branch and Bound”)
- Programación 0-1
  - Algoritmo de Balas.
  - Problemas de asignación de recursos geológicos y mineros.

### 3.4: COMPLEJIDAD ALGORITMICA DE LOS PROBLEMAS DE PROGRAMACIÓN LINEAL

- Comportamientos anómalos del método del Simplex
- Problemas de gran talla.
- Introducción a los métodos de punto interior para problemas lineales. Algoritmo de Karmarkar.

## **BLOQUE 4: Programación dinámica**

### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 4.1 Comprender los fundamentos de los problemas de programación dinámica*
- 4.2 Comprender los algoritmos básicos para problemas de programación dinámica.*
- 4.3 Aplicar el algoritmo de Bellman a la resolución de problemas de optimización multietapas.*
- 4.4 Conocer las características de los problemas de control óptimo*
- 4.5 Aplicar las técnicas de programación dinámica a la resolución de problemas básicos en ingeniería.*

### CONTENIDOS

#### 4.1: CONCEPTOS FUNDAMENTALES

- Procesos de decisión multietapa.
- Representación de los procesos de decisión multietapa.
- Concepto de suboptimización y principio de optimalidad.

#### 4.2: PROGRAMACIÓN DINÁMICA DISCRETA.

- Algoritmo de Bellman.
- Ejemplos de aplicación.

#### 4.3: PROGRAMACIÓN DINÁMICA CONTINUA.

- Introducción a la teoría del Control Optimo
- Condiciones necesarias de optimalidad.
- Ecuación de Hamilton-Jacobi-Bellman.

#### 4.4: APLICACIONES DE LA PROGRAMACIÓN DINÁMICA EN INGENIERÍA

- Diseño de estructuras reticuladas
- Diseño de mecanismos de engranaje
- Diseño de sistemas óptimos de drenaje.

### **BLOQUE 5: Introducción a la programación no lineal**

#### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 5.1 Comprender los fundamentos de los algoritmos para problemas de optimización no lineal*
- 5.2 Aplicar algoritmos numéricos básicos a problemas de optimización monodimensional.*
- 5.3 Comprender los algoritmos básicos para problemas de programación cuadrática y geométrica*
- 5.4 Aplicar las técnicas directas e indirectas para la resolución de problemas multidimensionales sin restricciones*
- 5.5 Aplicar las técnicas directas e indirectas para la resolución de problemas multidimensionales con restricciones*
- 5.6 Aplicar técnicas de análisis de la convergencia a los algoritmos descritos*
- 5.7 Comprender las características matemáticas de los problemas de identificación de parámetros*
- 5.8 Aplicar el Algoritmo de Marquart a problemas básicos de identificación de parámetros*

#### CONTENIDOS

##### 5.1: CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y TÉCNICAS BÁSICAS

- Planteamiento.
- Métodos de eliminación para funciones monodimensionales
  - Búsqueda dicotómica
  - Método de Fibonacci
  - Método de la sección áurea
  - Algoritmos genéticos
- Métodos de interpolación
  - Método de Powell
  - Método de Davidon
  - Método de Newton

##### 5.2: PROGRAMACIÓN CUADRÁTICA

- Algoritmo de Wolfe.

### 5.3: PROGRAMACIÓN GEOMÉTRICA

- Concepto de posinomial
- Problemas sin restricciones: algoritmo de solución.
- Problemas con restricciones: algoritmo de Avriel y Williams
- Aplicaciones: problemas de ingeniería mecánica.

### 5.4: ALGORITMOS PARA PROBLEMAS GENERALES DE OPTIMIZACIÓN NO LINEAL

- Técnicas para problemas multidimensionales sin restricciones:
  - Métodos de búsqueda directa: Método del simplex, método de Hooke and Jeeves.
  - Métodos indirectos:
    - Algoritmos de tipo gradiente: método de la máxima pendiente y gradiente conjugado. Precondicionamiento.
    - Algoritmos de tipo Quasi-Newton: método de Davidon-Fletcher-Powell y métodos de tipo Broyden.
- Técnicas para problemas multidimensionales con restricciones.
  - Métodos de búsqueda directa: método del Complex
  - Métodos de direcciones factibles: Método del gradiente proyectado, método del gradiente reducido.
  - Métodos indirectos: métodos de la función barrera, método del lagrangiano aumentado
- Análisis de la convergencia de los algoritmos
- Aplicaciones: problemas de diseño de estructuras reticuladas.

### 5.5: APLICACIÓN A LA IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y TÉCNICOS.

- Introducción a los problemas de ajuste por mínimos cuadrados no lineales.
- Técnica de la máxima verosimilitud.
- Algoritmo de Marquardt.
- Algoritmo de Metrópolis
- Aplicación a la determinación de parámetros hidrogeológicos.

## **b) BIBLIOGRAFÍA**

### BÁSICA:

- BARBOLLA, R.; CERDA, E.; SANZ, P.: *Optimización matemática*. Espasa Calpe, 1991.
- BRONSON, R.: *Investigación de Operaciones*. McGraw Hill, 1983.
- BUNDAY, B.D.: *Basic Linear Programming*. E. Arnold, Londres, 1984.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G.J.: *Introducción a la investigación de operaciones*. 6ª Edición. McGraw Hill, México, 2001.
- RAO, S. S.: *Engineering Optimization*. 3ª Edición. J.L. Wiley, Nueva York. 1996.

## COMPLEMENTARIA:

- DE NEUFVILLE, R.: *Applied System Analysis*. McGraw Hill, 1990.
- DENNIS, J. E., SCHNABEL, R. B.: *Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs. 1983
- GOLDBERG, D. E.: *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1989.
- NASH, S. G.; SOFER, A.: *Linear and Nonlinear Programming*. McGraw-Hill. Nueva York. 1996.
- VAN LAARHOVEN, P. J. M., AARST, E.: *Simulated Annealing: Theory and Applications*, D. Reidel, Dordrech, 1987.

**c) PRÁCTICAS EN GRUPOS REDUCIDOS**

En el aula de simulación numérica se realizarán las siguientes prácticas:

Nº de prácticas por curso y alumno: 5  
 Nº de alumnos por grupo: 30 (máximo)

Relación de contenidos:Lugar de realización:

Práctica Nº 1: Introducción a “What best!”.	Aula de informática
Nº 2 y 3: Aplicaciones de la Programación Lineal.	Aula de informática
Nº 4 y 5: Aplicaciones de la Programación No Lineal.	Aula de informática

Durante estas prácticas se realizará un proyecto obligatorio individual valorado en hasta 2,5 puntos.

Además, se desarrollarán tres temas de seminarios con una duración estimada de 12 h cada uno. Cada alumno, con carácter voluntario, podrá seguir uno de ellos. En estos seminarios se profundizará sobre las aplicaciones de la investigación operativa en problemas de ingeniería y de gestión. Los seminarios puntuarán entre 0 y 5 puntos, función de un informe posterior a realizar por los alumnos participantes

**d) PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN**

La evaluación se centra sobre la capacidad de aplicación de los conceptos y recursos de la asignatura.

Los alumnos podrán aprobar reuniendo las siguientes condiciones:

- Aprobar el proyecto obligatorio individual (al menos 1'25 puntos sobre 2'5)
- Obtener al menos 3 puntos (sobre 10) en el examen.
- Que la suma de puntos obtenidos con las pruebas anteriores y, en su caso, con los del seminario voluntario sea superior o igual a 6,25.

La nota final se obtendrá del resultado de dividir por 1,25 la suma de los puntos obtenidos en el examen, proyecto obligatorio y seminario voluntario.