



## Guía docente

# 200643 - MMIO - Modelos y Métodos de la Investigación Operativa

Última modificación: 11/04/2024

**Unidad responsable:** Facultad de Matemáticas y Estadística

**Unidad que imparte:** 715 - EIO - Departamento de Estadística e Investigación Operativa.

**Titulación:** MÁSTER UNIVERSITARIO EN ESTADÍSTICA E INVESTIGACIÓN OPERATIVA (Plan 2013). (Asignatura obligatoria).

**Curso:** 2024

**Créditos ECTS:** 5.0

**Idiomas:** Castellano, Inglés

## PROFESORADO

**Profesorado responsable:** MARÍA PAZ LINARES HERREROS

**Otros:** Primer cuatrimestre:

DANIEL BAENA MIRABETE - A, B

MARÍA PAZ LINARES HERREROS - A, B

## CAPACIDADES PREVIAS

La asignatura Modelos y Métodos de la Investigación Operativa es obligatoria, los estudiantes del Itinerario 1 (estudiantes graduados en estadística o matemáticas) se matricularán en el Grupo A - Avanzado y los alumnos del Itinerario 2 (estudiantes del resto de titulaciones) en el Grupo B - Introductorio. El Grupo A se impartirá en inglés, el Grupo B en castellano.

El Grupo A de la asignatura, así como su contenido, se ajusta a los textos:

- Linear and nonlinear programming - Luenberger, D.G.; Ye, Y, Springer, 2016. ISBN: 9783319188416
- Numerical optimization - Nocedal, J.; Wright, S.J, Springer Science+Business Media, 2006. ISBN: 0387303030
- Integer programming - Wolsey, L.A, John Wiley & Sons, 1998. ISBN: 0471283665

El Grupo B de la asignatura, así como su contenido se ajusta en gran medida al texto:

- Linear and nonlinear programming - Luenberger, D.G.; Ye, Y, Springer, 2016. ISBN: 9783319188416

## REQUISITOS

Para seguir de manera adecuada esta asignatura y obtener el máximo rendimiento es necesario tener conocimientos básicos previos de cálculo con una y varias variables, y conocer los conceptos básicos sobre matrices y bases en espacios vectoriales. Es muy recomendable conocer algunas técnicas básicas de programación.

El Grupo A tiene un nivel superior. Para seguirlo de manera adecuada y obtener el máximo rendimiento es necesario haber cursado anteriormente técnicas de modelización y métodos básicos de Investigación Operativa y, específicamente, de Programación Lineal y Lineal Entera.



## COMPETENCIAS DE LA TITULACIÓN A LAS QUE CONTRIBUYE LA ASIGNATURA

---

### Específicas:

3. CE-2. Capacidad para dominar la terminología propia de algún ámbito en el que sea necesaria la aplicación de modelos y métodos estadísticos o de investigación operativa para resolver problemas reales.
4. CE-3. Capacidad para formular, analizar y validar modelos aplicables a problemas de índole práctica. Capacidad de seleccionar el método y/o técnica estadística o de investigación operativa más adecuado para aplicar dicho modelo a cada situación o problema concreto.
5. CE-5. Capacidad para formular y resolver problemas reales de toma de decisiones en los diferentes ámbitos de aplicación sabiendo elegir el método estadístico y el algoritmo de optimización más adecuado en cada ocasión.
6. CE-6. Capacidad para utilizar el software más adecuado para realizar los cálculos necesarios en la resolución de un problema.

### Transversales:

1. TRABAJO EN EQUIPO: Ser capaz de trabajar como miembro de un equipo interdisciplinar, ya sea como un miembro más o realizando tareas de dirección, con la finalidad de contribuir a desarrollar proyectos con pragmatismo y sentido de la responsabilidad, asumiendo compromisos teniendo en cuenta los recursos disponibles.
2. USO SOLVENTE DE LOS RECURSOS DE INFORMACIÓN: Gestionar la adquisición, la estructuración, el análisis y la visualización de datos e información en el ámbito de especialidad, y valorar de forma crítica los resultados de dicha gestión.

## METODOLOGÍAS DOCENTES

---

Grupo A y B:

- Teoría: sesiones en las que se presentan y discuten los contenidos de la asignatura. Se utilizará la intranet docente para hacer público material docente relacionado con la asignatura: apuntes de algunos de los temas, enunciados de problemas y exámenes resueltos.
- Problemas: sesiones en las que se plantean y se resuelven problemas numéricos relacionados con los temas vistos en clase de teoría. Se da cierto tiempo para que el estudiante intente resolver los problemas y posteriormente los problemas se resuelven y se discuten.
- Laboratorio: habrá sesiones de laboratorio para introducir a los estudiantes en la implementación y resolución práctica de los modelos de Investigación Operativa, utilizando software disponible.



## OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

Los objetivos del curso dependen del nivel a cursar.

### Grupo A:

En este curso se estudian modelos y técnicas de Investigación Operativa, especialmente en Programación Entera. Se presta atención a las aplicaciones potenciales de los modelos. Se ilustra la aplicación de las técnicas estudiadas a algunos modelos clásicos en optimización combinatoria, como el problema del viajante de comercio.

Los objetivos de aprendizaje de la asignatura son:

- Dar un complemento de formación básica en investigación operativa, en particular en el ámbito de la Programación Entera.
- Familiarizar al estudiante en métodos que permiten resolver algunas aplicaciones prácticas de problemas de programación entera y optimización combinatoria.
- Conocer las posibles alternativas de modelización para los diferentes problemas de optimización, y sus posibles aplicaciones.
- Conocer la metodología básica de la programación entera y, en particular los métodos enumerativos y los de planos de corte, así como las posibles combinaciones de los anteriores.
- Conocer los resultados de la teoría de la dualidad y sus implicaciones.
- Conocer algunos métodos heurísticos básicos para algunos problemas concretos de optimización combinatoria.

Capacidades a adquirir:

- Ser capaz de formular un modelo adecuado y de diseñar e implementar un prototipo de un método para la resolución de un problema concreto de optimización.
- Ser capaz de identificar desigualdades válidas para problemas típicos de programación entera como, por ejemplo, el problema de la mochila y el problema del viajante de comercio.
- Ser capaz de formular una relajación lagrangiana para un problema de optimización. Poder determinar la existencia o no de gap de dualidad para un problema concreto de optimización.

### Grupo B:

Se trata de un curso introductorio de modelos y métodos de Investigación Operativa. El objetivo primordial es dar una panorámica de las principales clases de modelos y de sus aplicaciones potenciales, así como de las técnicas que deben aplicarse en cada caso. Se estudiarán las versiones básicas de las técnicas más usuales en programación no-lineal, programación lineal y programación entera. Sin olvidar los aspectos formales, se hará especial énfasis en la interpretación y aplicación de los conceptos estudiados.

Los objetivos de aprendizaje de la asignatura son:

- Dar una formación básica en los principales modelos y técnicas en investigación operativa, así como de sus principales aplicaciones.
- Familiarizar al estudiante en métodos básicos que permiten resolver algunas aplicaciones prácticas.
- Conocer las posibles alternativas de modelización y la naturaleza de las diferentes clases de problemas de investigación operativa y sus posibles aplicaciones, haciendo énfasis en aquellas relacionadas con problemas estadísticos.
- Conocer los conceptos y metodología básica de la programación lineal, la dualidad y el análisis de sensibilidad.
- Conocer los principales modelos de flujos en redes, así como sus aplicaciones, incluyendo problemas de caminos mínimos y de árboles de expansión.
- Conocer algunos conceptos básicos relacionados con la programación entera y, en concreto, los relacionados con los planos de corte y los métodos básicos enumerativos.

Capacidades a adquirir:

- Ser capaz de formular un modelo adecuado para un problema concreto de optimización matemática y de implementarlo utilizando un lenguaje de modelización adecuado.
- Ser capaz de resolver problemas pequeños de programación lineal con el algoritmo del simplex i de responder a cuestiones sencillas de análisis de sensibilidad.
- Ser capaz de resolver modelos sencillos de flujos en redes, incluyendo caminos mínimos y árboles de expansión.
- Ser capaz de aplicar las técnicas básicas de programación entera.

## HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

| Tipo                       | Horas | Porcentaje |
|----------------------------|-------|------------|
| Horas aprendizaje autónomo | 80,0  | 64.00      |
| Horas grupo grande         | 30,0  | 24.00      |
| Horas grupo pequeño        | 15,0  | 12.00      |



**Dedicación total:** 125 h

## CONTENIDOS

### Tema 1: Introducción a los modelos y formulaciones de la Investigación Operativa

**Descripción:**

Introducción a la asignatura, haciendo énfasis en sus aplicaciones potenciales y en la relevancia en la disciplina de los modelos y las formulaciones de optimización matemática.

**Dedicación:** 17h

Grupo grande/Teoría: 5h

Grupo pequeño/Laboratorio: 2h

Aprendizaje autónomo: 10h

### Tema 3: Modelos de programación lineal y sus propiedades.

**Descripción:**

3.1 Bases y puntos extremos.

3.2 Conceptos básicos de dualidad y análisis de sensibilidad.

**Dedicación:** 21h 20m

Grupo grande/Teoría: 5h

Grupo pequeño/Laboratorio: 3h

Aprendizaje autónomo: 13h 20m

### Tema 4: Modelos de flujos en redes: flujo máximo, flujo de coste mínimo

**Descripción:**

4.1 Equilibrio en una red.

4.2 Propiedades de las formulaciones lineales y de sus soluciones.

4.3 Problemas de caminos mínimos.

4.4 Árboles de expansión.

**Dedicación:** 21h 20m

Grupo grande/Teoría: 5h

Grupo pequeño/Laboratorio: 3h

Aprendizaje autónomo: 13h 20m

### Tema 5: Modelos básicos de programación entera y sus propiedades

**Descripción:**

5.1 Planos de corte: cortes de Gomory

5.2 Métodos enumerativos: branch-and-bound, branch-and-cut.

**Dedicación:** 20h 20m

Grupo grande/Teoría: 5h

Grupo pequeño/Laboratorio: 2h

Aprendizaje autónomo: 13h 20m



## Tema 6: Modelos y métodos avanzados de Investigación Operativa

### Descripción:

- 6.1 Problemas de optimización combinatoria y su relación con la programación entera. Problemas de matching, packing, covering y partitioning. Problemas de localización de servicios, itinerarios y diseño de redes.
- 6.2 Métodos exactos de solución.
- i. Desigualdades válidas. Problema de separación y métodos de planos de corte.
  - ii. Métodos enumerativos: enumeración implícita, branch-and-bound y branch-and-cut. Casos particulares: Cortes de Gomory, Chvátal-Gomory, ...
- 6.3 Métodos heurísticos. Métodos constructivos (greedy, GRASP, ...), métodos de mejora. Metaheurísticas.
- 6.4 Relajación Lagrangiana en programación entera.
- i. El dual Lagrangiano. Relación entre dualización y convexificación.
  - ii. Resolución del dual Lagrangiano: optimización no diferenciable, optimización subgradiente.
- 6.5 Algunos problemas de optimización combinatoria.
- i. Problema de la mochila. Desigualdades válidas y facetas: cover cuts. Separación y desproyección (lifting).
  - ii. Problema del viajante de comercio (TSP). Propiedades básicas y alternativas de modelación. Desigualdades válidas y su separación: ruptura de subciclo, 2-matching, comb inequalities.

### Dedicación: 75h

Grupo grande/Teoría: 40h

Grupo mediano/Prácticas: 20h

Grupo pequeño/Laboratorio: 15h

## SISTEMA DE CALIFICACIÓN

### GRUPO A:

#### A.1 Evaluación Continuada:

- Se realizarán dos exámenes parciales, uno de la primera parte de la asignatura (P1) y una de la segunda parte (P2).
- También se realizará un examen final (EF) que incluirá todo el temario del curso, no obligatorio, que sustituirá a las dos pruebas parciales.
- Para la evaluación de la parte práctica de la asignatura, se propondrá la realización de una práctica individual (PR).

La nota final se obtiene de la ponderación:  $\max\{35\%P1+35\%P2+30\%PR, 70\%EF+30\%PR, 100\%EF\}$

#### A.2. Evaluación única:

La nota final de la asignatura será la nota del examen final (EF).

### GRUPO B:

#### B.1. Evaluación Continuada:

- E1: primera parte de la asignatura. Examen parcial.
- E2: segunda parte de la asignatura
- ER: Ejercicio práctico individual a entregar en las fechas indicadas
- Se valorará la participación en clase

La nota final será:  $0.35*E1 + 0.35*E2 + 0.3*ER$  , donde

E1: Nota del parcial primera parte de la asignatura.

E2: Nota de la segunda parte de la asignatura.

ER: Nota del ejercicio práctico.

#### B.2. Evaluación única:

Se hará un único examen final incluyendo todos los temas de la asignatura, y se renunciará automáticamente a E1 y ER.



## BIBLIOGRAFÍA

---

### Básica:

- Luenberger, David G; Ye, Yinyu. Linear and nonlinear programming [en línea]. 3rd ed. New York: Springer, cop. 2008 [Consulta: 04/07/2023]. Disponible a: <https://link-springer-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/10.1007/978-0-387-74503-9>. ISBN 9780387745022.
- Wolsey, L. A. Integer programming. New York: John Wiley & Sons, 1998. ISBN 0471283665.

### Complementaria:

- Bazaraa, M. S; Sherali, Hanif D; Shetty, C. M. Nonlinear programming : theory and algorithms. 3rd ed. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, cop. 2006. ISBN 9780471486008.
- Ahuja, Ravindra K; Magnanti, Thomas L; Orlin, James B. Network flows : theory, algorithms, and applications. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, cop. 1993. ISBN 013617549X.
- Bertsekas, Dimitri P. Nonlinear programming. 2nd ed. Belmont: Athena Scientific, cop. 1999. ISBN 1886529000.
- Cook, W. [et al.]. Combinatorial optimization. New York: Wiley, 1998. ISBN 047155894X.
- Fourer, Robert; Gay, David M; Kernighan, Brian W. AMPL : a modeling language for mathematical programming. 2nd ed. Pacific Grove, CA: Thomson/Brooks/Cole, cop. 2003. ISBN 0534388094.
- Nemhauser, G.L.; Wolsey, L.A. Integer and combinatorial optimization. New York: John Wiley and Sons, 1988. ISBN 047182819X.
- Padberg, M. Linear optimization and extensions. 2nd, revised and expanded ed. New York: Springer-Verlag, 1999. ISBN 3540658335.

## RECURSOS

---

### Material informático:

- CPLEX. Software para la resolución de problemas de programación entera
- AMPL. Lenguaje de modelización para optimización matemática