

**Proyecto/Guía docente de la asignatura**

<b>Asignatura</b>	MODELOS AVANZADOS DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA		
<b>Materia</b>	Investigación Operativa		
<b>Módulo</b>			
<b>Titulación</b>	GRADO EN ESTADÍSTICA		
<b>Plan</b>	549	<b>Código</b>	47100
<b>Periodo de impartición</b>	2º cuatrimestre	<b>Tipo/Carácter</b>	Optativo
<b>Nivel/Ciclo</b>	Grado	<b>Curso</b>	4º
<b>Créditos ECTS</b>	6		
<b>Lengua en que se imparte</b>	Español, con parte de material y software en inglés		
<b>Profesor/es responsable/s</b>	Ricardo Josa Fombellida y José Enrique Puente Domínguez		
<b>Datos de contacto (E-mail, teléfono...)</b>	<a href="mailto:ricardo.josa@uva.es">ricardo.josa@uva.es</a> (983 186313) <a href="mailto:joseenrique.puente@uva.es">joseenrique.puente@uva.es</a> (983 185957)		
<b>Departamento</b>	Estadística e Investigación Operativa		

**1. Situación / Sentido de la Asignatura****1.1 Contextualización**

“Modelos Avanzados de Investigación Operativa” es una asignatura optativa que se imparte en cuarto curso del Grado en Estadística durante el segundo cuatrimestre. En el plan de estudios consta de un total de 6 créditos. Complementa a las otras asignaturas de la materia Investigación Operativa del plan de estudios, añadiendo el estudio de nuevos modelos.

Con esta asignatura se pretende que el alumno conozca modelos de optimización no lineal, de optimización dinámica, de optimización en finanzas y de optimización en sistemas de colas.

**1.2 Relación con otras materias**

“Modelos Avanzados de Investigación Operativa” guarda relación con las asignaturas de la materia “Investigación Operativa”.

**1.3 Prerrequisitos**

Se recomienda tener conocimientos de Investigación Operativa, de Probabilidad y de Cálculo Diferencial en varias variables.

**2. Competencias****2.1 Generales**

**G1.** Capacidad para la gestión de la información: Incluye la capacidad para la búsqueda, manejo y exposición de información relevante de diversas fuentes, así como el manejo de las herramientas TIC necesarias.

**G2.** Capacidad para la abstracción y el razonamiento crítico: El modelado y análisis de datos de problemas reales exige una elevada capacidad de abstracción, y el razonamiento crítico es necesario para hacer interpretaciones y establecer conclusiones y soluciones con rigor científico.

**G3.** Capacidad para la puesta al día y el auto-aprendizaje: Incluye la capacidad para la búsqueda de recursos que permitan la solución de nuevos problemas o de nuevas técnicas, en un medio científico y tecnológico en continua evolución.



## 2.2 Específicas

**E1.** Recogida y tratamiento de datos: Incluye la capacidad para decidir sobre el diseño del procedimiento de obtención de datos. Capacidad para la búsqueda de información de fuentes diversas y para la elaboración de cuestionarios. Dominio en el manejo de bases de datos y en el tratamiento y depuración de los mismos.

**E3.** Ajuste de modelos estadísticos y de investigación operativa: Incluye la capacidad para crear o reconocer un modelo adecuado al problema objeto de estudio. Capacidad para el ajuste del modelo mediante las herramientas estadísticas e informáticas adecuadas.

**E4.** Análisis de resultados, interpretación y validación de modelos: Incluye la capacidad para la selección y validación de un modelo. Capacidad para la interpretación de los modelos ajustados y las diferencias entre ellos. Empleo de herramientas informáticas específicas.

**E5.** Extracción de conclusiones: Incluye la capacidad para interpretar los resultados del ajuste de un modelo seleccionado en términos del problema objeto de estudio, evaluando su utilidad y/o proponiendo la necesidad de otras orientaciones del estudio.

**E6.** Presentación y comunicación de resultados: Incluye la capacidad para presentar los resultados de los análisis realizados, junto a las posibles soluciones a los problemas planteados por los demandantes del estudio en contextos diversos.

**E7.** Dominio de conceptos y herramientas informáticas a nivel de usuario avanzado: programación, sistemas operativos, algoritmos, computación, inteligencia artificial, aprendizaje automático, almacenes y minería de datos, etc.

## 2.3 Transversales

### Instrumentales

**I1.** Capacidad de análisis y síntesis

**I2.** Capacidad de gestión de la información

**I3.** Capacidad de organización y planificación

**I4.** Conocimientos de informática relativos al ámbito de estudio

**I5.** Resolución de problemas

**I6.** Comunicación oral y escrita en lengua nativa

**I7.** Conocimiento de lenguas extranjeras

**I8.** Toma de decisiones

### Personales

**P2.** Razonamiento crítico

**P3.** Habilidades en las relaciones interpersonales

**P4.** Compromiso ético

### Sistémicas

**S1.** Aprendizaje autónomo

**S2.** Adaptación a nuevas situaciones

**S3.** Motivación por el trabajo bien hecho

**S4.** Iniciativa y espíritu emprendedor

**S5.** Creatividad

## 3. Objetivos

Modelizar y analizar problemas de optimización no lineal, dinámica, financiera y de sistemas de colas. Manejar técnicas de resolución para los problemas modelizados. Adquirir capacidad para analizar las soluciones. Implementar los modelos estudiados mediante software especializado.

## 4. Contenidos y/o bloques temáticos

### Bloque 1: Modelos Avanzados de Investigación Operativa

Carga de trabajo en créditos ECTS:

#### a. Contextualización y justificación

Ver apartado 1.1.

#### b. Objetivos de aprendizaje

Ver apartado 3.



### c. Contenidos

La propuesta que se expone a continuación recoge los contenidos mínimos que el alumno seguirá a lo largo de cada tema. Al final de estos contenidos mínimos se expone la bibliografía básica que se propone para el bloque, así como los ejercicios más pertinentes y el tiempo de dedicación a clases teórico-prácticas.

El profesor completará las explicaciones teóricas con algunos ejemplos y los alumnos trabajarán la realización de ejercicios propuestos. Algunos serán corregidos con clases prácticas con la participación de los alumnos. Les será entregado el material correspondiente. Éste consistirá, aproximadamente en: esquemas teóricos, apuntes de AMPL y WinQSB, y listas de ejercicios propuestos.

#### Temas a desarrollar:

#### Parte 1: Programación no lineal

##### 1.- Introducción a la programación no lineal

- Introducción y necesidad de la programación no lineal
- Formulación de modelos básicos de programación no lineal
- Formulación general de un problema de programación matemática
- Clasificación de los problemas de programación matemática
- Resolución gráfica de programas matemáticos

Clases en el aula: 1 h de teoría y 2 h de problemas. Clases prácticas de laboratorio con AMPL: 2 h

##### 2.- Optimización de funciones

- Extremos locales y globales
- Optimización en compactos Teorema de Weierstrass
- Optimización y convexidad: conjuntos convexos, funciones cóncavas y convexas, relación entre convexidad conjuntista y funcional, caracterización de funciones cóncavas y convexas de clases  $C^1$  y  $C^2$ . Teorema local-global

Clases en el aula: 1 h de teoría y 1 h de problemas. Clases prácticas de laboratorio con AMPL: 4 h

##### 3.- Modelos de optimización en varias variables

- Optimización sin restricciones: condiciones de primer orden, punto crítico y punto de silla, condiciones de segundo orden, condiciones de optimalidad en programas convexos, métodos numéricos, modelos y software
- Optimización con restricciones de igualdad: método de eliminación de restricciones, teorema de Lagrange, condiciones de segundo orden, interpretación económica de los multiplicadores de Lagrange, modelos y software
- Optimización con restricciones de desigualdad: planteamiento del problema, teorema de Kuhn-Tucker, condiciones de segundo orden, interpretación económica de los multiplicadores de Kuhn-Tucker, métodos numéricos, modelos y software

Clases en el aula: 2 h de teoría y 3 h de problemas. Clases prácticas de laboratorio con AMPL: 5 h

**Prueba parcial (PNL):** problemas de carácter práctico (temas 1-3)

#### Parte 2: Programación dinámica

##### 4.- Introducción a la programación dinámica

- Orígenes de la programación dinámica
- Formulación de problemas de programación dinámica

Clases en el aula: 1 h de teoría

##### 5.- Programación dinámica en tiempo discreto

- Planteamiento del problema
- Métodos de resolución: por programación matemática, por programación dinámica (ecuaciones de Bellman y principio de optimalidad) y por el principio del máximo de Pontryagin en tiempo discreto
- Aplicaciones y software: recursos naturales, producción, acumulación de capital, transporte, rutas, inventario

Clases en el aula: 2 h de teoría y 2 h de problemas. Clases prácticas de laboratorio: 2 h



## 6.- Programación dinámica en tiempo continuo

- Planteamiento del problema
- Condiciones necesarias de optimalidad: principio del máximo de Pontryagin
- Condiciones suficientes de optimalidad: de Mangasarian y de Arrow
- Función valor óptimo. Interpretación económica de las variables adjuntas
- Principio de la programación dinámica. Ecuación de Hamilton-Jacobi-Bellman
- Problemas especiales: control bang-bang y problema lineal cuadrático

Clases en el aula: 2 h de teoría y 3 h de problemas.

**Trabajo (PD):** problemas de carácter práctico (temas 4-6)

## Parte 3: Optimización en Finanzas

### 7.-Los mercados financieros

- Introducción a los mercados financieros
- Análisis de datos bursátiles de cotizaciones y de retornos
- Riesgos sistemático y específico

Clases en aula: 1 h de teoría. Clases prácticas de laboratorio con software estadístico: 2 h

### 8.-Optimización de carteras

- Carteras de inversiones: rendimiento, riesgo, ratio de Sharpe
- Modelos básicos de optimización de carteras
- Modelo de Markowitz, frontera eficiente de rentabilidad-riesgo, carteras eficientes
- Implementación de modelos con datos reales usando programación multiobjetivo

Clases en el aula: 2 h de teoría y 2 h de problemas. Clases prácticas de laboratorio con AMPL y Xpress Mosel: 5 h

**Trabajo (OF) + exposición oral:** desarrollo de un modelo con datos reales con obtención de la frontera eficiente (tema 8)

## Parte 4: Optimización en sistemas de colas

### 9.- Optimización en modelos básicos de colas

- Terminología en teoría de colas. Notación de Kendall-Lee. Modelado de los procesos de llegada y servicio.
- Sistema de colas de Poisson generalizado.
- Modelos sencillos de colas simples: sistemas especializados de Poisson (con población infinita y con población finita) y otros sistemas de colas.
- Redes de colas.
- Costes asociados y optimización de un sistema de colas.

Clases en el aula: 2 h de teoría y 3 h de problemas. Clases prácticas de laboratorio con WinQSB: 6 h

**Prueba parcial (OSC):** optimización en modelos de colas, con parte práctica con WinQSB

## d. Métodos docentes

La asignatura se desarrollará mediante la realización de diversas actividades: clases en el aula (tanto teóricas como de problemas), clases prácticas en el laboratorio de informática, realización tres trabajos individuales con exposición oral, tutorías individualizadas, dos pruebas parciales y examen final.

Todas las actividades tienen como objetivo principal el de potenciar el aprendizaje de los alumnos, facilitando la adquisición de cuantos conocimientos y competencias precise. Las diferentes actividades estarán sujetas a un proceso de evaluación continua, y algunas permitirán dar la certificación necesaria del aprendizaje. Véase el apartado dedicado a la evaluación del aprendizaje.

El profesor pondrá a disposición de los alumnos diverso material a través del **campus virtual de la UVa** en la **plataforma Moodle**.



### e. Plan de trabajo

---

A continuación, se detallan las diferentes actividades que se realizarán a lo largo del curso en el ámbito de la asignatura.

#### Clases:

- La teoría básica necesaria será expuesta en clase por el profesor de la asignatura y se ilustrará continuamente su aplicación mediante ejemplos, lo cual llevará a que no podamos diferenciar claramente entre clases de teoría y clases prácticas. No obstante, podemos estimar que la "teoría" ocupará un 40% del tiempo dedicado a las clases.
- La teoría se complementará con la aplicación práctica de los modelos a problemas reales de diversos ámbitos. Las clases prácticas serán **clases de problemas**, donde el profesor junto con los estudiantes corregirá los problemas propuestos, y **prácticas en el aula de informática**, donde se plantearán y resolverán modelos de optimización con AMPL y WinQSB, y se analizarán datos en los diferentes contextos con otro software estadístico. Estas clases supondrán el 60% del tiempo dedicado a las clases.
- La participación activa de los alumnos será necesaria en todos los casos, ya se trate de clases de teoría o de prácticas.

#### Pruebas parciales:

- Se realizarán **dos pruebas parciales**, una de la parte 1 (optimización no lineal) y otra de la parte 4 (optimización en sistemas de colas).

#### Trabajos:

- Se realizarán dos trabajos.
- El primero consistirá en la realización de uno o varios problemas, sobre los temas 4-6, de optimización dinámica. El segundo consistirá en realizar un estudio de un modelo optimización de carteras (temas 7-8) con datos reales. Incluirá **una exposición oral** pública.
- Los trabajos serán individuales, aunque la tarea sea la misma para todos los alumnos. Se podrán requerir a los alumnos cuantas explicaciones se consideren oportunas. Inmediatamente después de la fecha de entrega de cada trabajo los alumnos tendrán a su disposición las soluciones de los problemas propuestos, así como su trabajo, debidamente corregido y calificado.

#### Examen final:

- El examen consistirá en varios problemas prácticos sobre el manejo de modelos de Programación No Lineal, de Programación Dinámica, de Optimización Financiera y de Optimización en Sistemas de Colas. Algunos se resolverán en el aula de informática, con AMPL, WinQSB u otro software estadístico. Por supuesto estará muy relacionado con las actividades realizadas: pruebas, trabajo y prácticas informáticas.
- Convocatoria ordinaria: 16 de junio de 2022. Convocatoria extraordinaria: 27 de junio de 2022.

#### Tutorías:

- Las **tutorías individualizadas** podrán ser atendidas por los profesores en la Facultad de Ciencias: Ricardo Josa (despacho A235) los martes y jueves, de 17:00 a 19:15 h, y José Enrique Puente (despacho A103) los viernes, de 14:45 a 17:45 h. También se podrá atender en otro horario, pero con previa cita con los profesores. Se recomienda su uso para resolver dudas sobre la asignatura, aunque la asistencia no es obligatoria. También se atenderán dudas por correo electrónico o por videoconferencia. Los profesores podrán convocar a los alumnos cuando lo estimen pertinente.
- Algunas horas de tutoría se dedicarán a la entrega y explicación de los trabajos realizados por los alumnos. Asimismo, será en horas de tutorías cuando los alumnos reciban los trabajos y las pruebas, tras su revisión y evaluación por el profesor. Se indicará el horario de cada actividad oportunamente.

Se informará de contenidos y fechas de realización de cada actividad de la asignatura mediante el campus virtual con al menos una semana de antelación.

### f. Evaluación

---

Se consideran dos sistemas de evaluación:

- 1) El sistema de evaluación continua: en la evaluación se tendrán en cuenta los trabajos entregados, la exposición oral, las pruebas y el examen final. No se tendrá en cuenta para la evaluación la asistencia a clase, si bien será necesario realizar las actividades evaluables.
- 2) La evaluación se basa únicamente en el examen final.



Tanto en la convocatoria ordinaria como en la extraordinaria, el estudiante puede elegir uno de los dos sistemas anteriores, es decir, su calificación es la máxima obtenida con los dos sistemas considerados.

## g Material docente

Esta sección será utilizada por la Biblioteca para etiquetar la bibliografía recomendada de la asignatura (curso) en la plataforma Leganto, integrada en el catálogo Almena y a la que tendrán acceso todos los profesores y estudiantes. Es fundamental que las referencias suministradas este curso estén actualizadas y sean completas. Los profesores tendrán acceso, en breve, a la plataforma Leganto para actualizar su bibliografía recomendada ("Listas de Lecturas") de forma que en futuras guías solamente tendrán que poner el enlace permanente a Leganto, el cual también se puede poner en el Campus Virtual.

### g.1 Bibliografía básica

- Barbolla, R., Cerdá, E., Sanz, P. (2001). *Optimización*. Ed. Prentice Hall
- Cao Abad, R. (2002). *Introducción a la Simulación y a la Teoría de Colas*. Netbiblo.
- Cerdá, E. (2001). *Optimización Dinámica*. Ed. Prentice Hall, Madrid
- Fourer R., Gay D.M. and Kernighan B.W. (1993, 2002). *AMPL, A Modeling Language for Mathematical Programming*. The Scientific Press.
- Hillier, F.S., Lieberman, G.L. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. Ed. McGraw-Hill, 9ª edición, México
- Taha, H.A. (2004). *Investigación de Operaciones. Una Introducción*. Ed. Prentice Hall, 7ª edición, México
- Winston, W. L. (2005). *Investigación de Operaciones. Aplicaciones y Algoritmos*. Ed. Thomson

### g.2 Bibliografía complementaria

- Abia Vian, J.A., García Laguna, J., Marijuán López, C. (1998). *Cálculo Diferencial en  $R^n$ . Teoría y Ejercicios*. Ed. Germinal
- Castillo, E., Conejo, A.J., Pedregal, P., García, R., Alguacil, N. (2002). *Formulación y Resolución de Modelos de Programación Matemática en Ingeniería y Ciencia*. Universidad de Castilla La Mancha. [http://www.investigacion-operaciones.com/ARCHIVOS\\_LIBRO/LibroCompleto.pdf](http://www.investigacion-operaciones.com/ARCHIVOS_LIBRO/LibroCompleto.pdf)
- García Aguado, J., Martínez Rodríguez, E., Redondo Palomo, R., del Campo Campos, C. (2002). *Métodos de Decisión*. Ed. Prentice Hall
- Hillier, F.S., Hillier, M.S., Lieberman, G.L. (2002). *Métodos Cuantitativos para la Administración: Un Enfoque de Modelos y Casos de Estudio, con Hoja de Cálculo*. Ed. McGraw-Hill, México
- Martín Martín, Q. (2003). *Investigación Operativa*. Ed. Prentice Hall, Madrid
- Martín Martín, Q., Santos Martín, M. T., de Paz Santana, Y.R. (2005). *Investigación Operativa. Problemas y Ejercicios Resueltos*. Ed. Prentice Hall, Madrid
- Ríos Insúa, S., Ríos Insúa, D., Mateos Caballero, A., Bielza Lozoya, C., Jiménez Martín, A. (2004). *Investigación Operativa. Modelos Determinísticos y Estocásticos*. Ed. Centro de Estudios Ramón Areces, Madrid
- Sáez Aguado, J. (2004). *Breve Introducción al Programa AMPL*. Apuntes no publicados
- Vanderbei, R.J. (2008). *Linear Programming: Foundations and Extensions*. Ed. Springer, 3rd edition, New York.
- Sydsaeter, K., Hammond, P., Seierstad, A., Strom, A. (2008). *Further Mathematics for Economic Analysis*. Ed. Prentice Hall, second edition, Harlow, England

Además, para cada tópico o cuestión que pueda interesar al alumno, el profesor intentará facilitar la bibliografía más adecuada.

### g.3 Otros recursos telemáticos (píldoras de conocimiento, blogs, videos, revistas digitales, cursos masivos (MOOC), ...)

## h. Recursos necesarios

Toda la bibliografía recomendada está a disposición de los alumnos, tanto en la **biblioteca de la Facultad de Ciencias** como en la **biblioteca del Departamento** de Estadística e I.O.



En el **campus virtual UVa**, <http://campusvirtual.uva.es>, se encuentra a disposición de los alumnos diverso material de la asignatura (incluyendo apuntes teóricos y listas de problemas) que será utilizado extensamente a lo largo del curso.

### i. Temporalización

Esta asignatura tiene 6 horas semanales de clase durante casi 10 semanas.

BLOQUE TEMÁTICO	CARGA ECTS	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO
Modelos Avanzados de Investigación Operativa	6	14/02/2022-27/04/2022

PARTE	CARGA ECTS	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO
Programación no lineal	2.3	14/02/2022-09/03/2022
Programación dinámica	1.2	10/03/2022-23/03/2022
Optimización en finanzas	1.4	23/03/2022-06/04/2022
Optimización en sistemas de colas	1.1	18/04/2022-27/04/2022

### 5. Métodos docentes y principios metodológicos

Ver 4 d) y e).

### 6. Tabla de dedicación del estudiante a la asignatura

ACTIVIDADES PRESENCIALES o PRESENCIALES A DISTANCIA <sup>(1)</sup>	HORAS	ACTIVIDADES NO PRESENCIALES	HORAS
Clases de teoría de aula	16	Estudio y trabajo personal	50
Clases de problemas de aula	12	Elaboración de trabajos	16
Clases de laboratorio	28	Preparación de presentaciones orales	4
Presentación de trabajos y pruebas	4	Trabajo personal en laboratorio	20
<b>Total presencial</b>	<b>60</b>	<b>Total no presencial</b>	<b>90</b>
TOTAL presencial + no presencial			<b>150</b>

### 7. Sistema y características de la evaluación

#### 1. Evaluación continua:

INSTRUMENTO/PROCEDIMIENTO	PESO EN LA NOTA FINAL	OBSERVACIONES
Prueba de programación no lineal (PNL)	35%	
Trabajo de programación dinámica (PD)	20%	
Trabajo de optimización en finanzas (OF) con exposición	25%	
Prueba de optimización en sistemas de colas (OSC)	20%	

#### 2. Sólo examen final:

INSTRUMENTO/PROCEDIMIENTO	PESO EN LA NOTA FINAL	OBSERVACIONES
Examen final	100%	



#### CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

- **Convocatoria ordinaria:**  
La calificación final es la máxima obtenida entre los dos procedimientos.
- **Convocatoria extraordinaria:**  
La calificación final es la máxima obtenida entre los dos procedimientos.

**Convocatorias ordinaria y extraordinaria:** La nota final es la nota máxima obtenida usando los dos procedimientos siguientes.

#### 8. Consideraciones finales

En la página Web <http://www.eio.uva.es/docencia/grado> se encuentra diversa información acerca del Grado en Estadística, en particular el calendario de actividades del curso y los horarios.

