

**Proyecto/Guía docente de la asignatura**

Asignatura	PROGRAMACIÓN ENTERA		
Materia	Investigación Operativa		
Módulo			
Titulación	GRADO EN ESTADÍSTICA / PROGRAMA DE ESTUDIOS CONJUNTO DE GRADO EN ESTADÍSTICA Y GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA (INDAT)		
Plan	549 / 551	Código	47088
Periodo de impartición	2º cuatrimestre	Tipo/Carácter	Obligatoria
Nivel/Ciclo	Grado	Curso	2º / 3º
Créditos ECTS	6		
Lengua en que se imparte	Español, con parte de material y software en inglés		
Profesor/es responsable/s	Ricardo Josa Fombellida		
Datos de contacto (E-mail, teléfono...)	ricardo.josa@uva.es (983 186313)		
Departamento	Estadística e Investigación Operativa		

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

“Programación Entera” es la continuación natural de la asignatura de “Introducción a la Investigación Operativa”, de primer curso del Grado en Estadística (o segundo de INdat).

Mientras que en la asignatura de Introducción a la Investigación Operativa de primer curso está dedicada a la resolución de problemas de Programación Lineal cuando las variables de decisión son continuas, en la asignatura de Programación Entera, podemos decir que existen dos focos o campos de referencia:

1. El estudio de problemas de optimización de flujos en redes (Network Flow). Nos centraremos en aspectos de modelización, estudiando diferentes problemas aplicados al ámbito del transporte y la distribución de productos, y en la resolución de los mismos mediante algoritmos exactos (simplex) y heurísticos.
2. El estudio de problemas de Programación Lineal Entera, es decir, problemas de optimización lineal en los cuales algunas o todas las variables están restringidas a ser enteras o binarias. Además, en determinadas situaciones ambos campos se combinan. En esta parte se hará hincapié especial en el uso de variables binarias para la modelización de restricciones lógicas y en el estudio de diferentes problemas de optimización combinatorial de uso frecuente en aplicaciones reales, como diversos problemas de asignación, cargas y empaquetamientos, diseño de redes, localización y otros. Además, se hará una introducción al algoritmo básico para la resolución de problemas de programación lineal entera (algoritmo branch and bound) y una introducción a los métodos heurísticos para la resolución aproximada de este tipo de problemas.

Todos los modelos y algoritmos vistos a lo largo de la asignatura serán implementados en el lenguaje Mosel para su resolución, o bien exacta con Xpress-Optimizer o bien directa con Mosel o cualquier otro lenguaje.

1.2 Relación con otras materias

“Programación Entera” guarda relación con las asignaturas de la materia “Investigación Operativa”.

1.3 Prerrequisitos

Se recomienda haber superado la asignatura “Introducción a la Investigación Operativa”. Se necesitarán conocimientos de Álgebra Lineal.



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

- Que el alumno aprenda a seguir los diferentes pasos del proceso que va desde la descripción de un problema real a la comunicación de los resultados obtenidos en el foro que ha generado la demanda de resolución de ese trabajo. Más concretamente:



- Describir con precisión problemas reales de los que se plantean en el entorno de las empresas e instituciones públicas o privadas.
 - Formular matemáticamente problemas asociados a situaciones reales de problemas de optimización en los cuales las redes y las variables binarias juegan un papel fundamental.
 - Analizar el problema planteado y sea capaz de obtener un algoritmo o una heurística para su resolución que pueda ser implementada en cualquier lenguaje genérico.
 - Resolver los problemas previamente formulados y analizados, usando para ello el ordenador y un lenguaje de programación de los habituales en la Investigación Operativa. En este curso usaremos el lenguaje Mosel de Xpress por su flexibilidad, potencia y posibilidad de uso en el futuro profesional.
 - Que el estudiante aprenda a validar los resultados obtenidos por medios informáticos y, en su caso, reiniciar el proceso anteriormente señalado.
- Además, el estudiante debe manejar con soltura las herramientas que le permitirán resolver los problemas que en su futuro laboral le planteen las empresas que deseen optimizar resultados.
- También es un objetivo de la asignatura, potenciar el desarrollo de varias competencias genéricas, demandadas en el ámbito profesional, como son el trabajo en equipo, la presentación de informes, la expresión oral y escrita, así como la capacidad de iniciativa y el sentido crítico.

4. Contenidos y/o bloques temáticos

Bloque 1: “Programación Entera”

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.

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. Se entregará a los alumnos diverso material que consistirá aproximadamente en: apuntes teóricos, apuntes de XPRESS, listas de ejercicios propuestos y exámenes anteriores.

Temas a desarrollar:

Parte 1: Optimización en redes

- Problemas de transporte. Ejemplo. Formulación general. Propiedades. Reglas heurísticas para encontrar soluciones factibles. Variantes del problema de transporte: capacidades, multiproducto, multimodal y dos etapas. El problema general de flujo con coste mínimo en redes (Network Flow). Ejemplo. Formulación general. Propiedades. Otros ejemplos.
- Los problemas de flujo máximo y de camino más corto. Ejemplos, formulaciones y aplicaciones.
- Los problemas de flujo en redes multiproducto. Ejemplos y formulación general. Transporte entre pares de Orígenes/Destinos.

Examen Parcial práctico, con uso de Xpress-Mosel, en el laboratorio, 2 h

Parte 2: Programación entera

- Introducción. Variables binarias y variables enteras. Clasificación y formulación de problemas de programación entera.



- Modelización con variables binarias. Principios generales y ejemplos variados de restricciones lógicas.
- Relaxaciones en programación entera y sus usos. Principios generales sobre relajaciones. Algoritmos de planos de corte.
- Algoritmos Branch-and-Bound y Branch-and-Cut para problemas de Programación Entera. Elementos fundamentales, y control del algoritmo.
- Introducción a los métodos heurísticos. Heurísticas de construcción greedy. Heurísticas de mejora: métodos de búsqueda local.
- Problemas de asignación. El problema clásico de asignación y el de asignación generalizada. Resolución exacta y heurística.
- Problemas de cargas y empaquetamiento. Problemas tipo mochila (Knapsack): binario, mochila múltiple y mochila multidimensional. Ejemplos y formulaciones. Heurísticas greedy y de búsqueda local. Problemas de empaquetamiento (Bin packing): heurística FFD.
- Problemas con costos fijos. Ejemplos y formulaciones generales. Introducción a los problemas de diseño de redes: redes con costos fijos. Problemas de mínimo árbol conector (MST y CMST). El problema de Steiner.
- Introducción a los problemas de localización. Localización con costos fijos (problemas UFLP, CFCLP y SSCFLP).
- Economías de escala y funciones lineales a trozos. El modelo incremental. Otras formulaciones.

Propuesta de **varias entregas de ejercicios prácticos** con uso de Xpress-Mosel

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, tutorías individualizadas, realización de trabajos, prueba en el laboratorio, examen parcial 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 se precise. Las diferentes actividades estarán sujetas a un proceso de evaluación continua, y algunas permitirán dar la certificación necesaria del aprendizaje. Véanse los apartados dedicado a la evaluación.

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

e. Plan de trabajo

La metodología usada en esta asignatura se apoya en las siguientes actividades.

Clases con pizarra

- Al inicio de cada tema el profesor expondrá uno o varios problemas reales en los que se precisa la utilización de los modelos de optimización objeto de estudio en esta asignatura.
- La **teoría** básica necesaria será expuesta en clase por el profesor de la asignatura ilustrando su aplicación mediante **ejemplos**.
- La exposición teórica y la realización de **ejercicios prácticos** se intercalarán de modo que ambos aspectos formen un todo continuo y, en sentido estricto, no se pueda hablar de clases de teoría y clases prácticas de pizarra.

Clases en el laboratorio

- Una vez explicado un tema del programa de teoría, se iniciará la exposición de aquellos aspectos del lenguaje de programación **Mosel** que son necesarios para la resolución de los modelos y/o los procedimientos heurísticos correspondientes y, a continuación, se resolverán problemas prácticos concretos.

Trabajos individuales y en equipo

- A lo largo del curso se irán realizando una serie de **prácticas**. Los alumnos podrán realizar trabajos unipersonales y en equipo dirigidos a la descripción, formulación y resolución de problemas. Para cada práctica se deberá entregar: la descripción del problema, la formulación correspondiente, las salidas obtenidas para su resolución, y el análisis y comentarios de la solución propuesta. El profesor puede proponer que los alumnos expongan públicamente algunas prácticas.



Tutorías

- Las **tutorías individualizadas** podrán ser atendidas en el despacho A235 de la Facultad de Ciencias, los martes y jueves, de 17:00 a 19:15 h. También se podrá atender en otro horario, pero con previa cita con el profesor. Se recomienda su uso para resolver dudas sobre la asignatura, aunque la asistencia no es obligatoria. También se atenderán dudas por correo electrónico. El profesor podrá convocar a los alumnos cuando lo estime pertinente.
- Algunas horas de tutoría se dedicarán, como se ha indicado, a la entrega, explicación y resolución de los trabajos realizados por los alumnos. Asimismo, será en horas de tutoría cuando los alumnos reciban los trabajos y el examen parcial, tras su revisión y evaluación por el profesor.

Filosofía general

La participación activa de los alumnos es necesaria en todos los casos, ya se trate de explicaciones de teoría, de problemas o de laboratorio.

Exámenes parcial y final

Su objetivo es comprobar que el alumno ha entendido la teoría, sabe formular problemas y es capaz de resolver los problemas formulados (bien a mano o bien usando el ordenador, según corresponda).

Forman parte de la evaluación de la asignatura. En esta asignatura se realizarán un examen de prácticas en el ordenador, al terminar la parte 1 de optimización sobre redes (examen parcial) y un examen final. El examen parcial no elimina materia. El examen final constará de: (i) examen escrito: basado en formulación de problemas y cuestiones de modelización; y (ii) examen de prácticas: resolución de problemas con ordenador (Mosel).

- Convocatoria ordinaria: día 3 de Junio de 2022.
- Convocatoria extraordinaria: día 1 de Julio de 2022.

Se informará de cada actividad de la asignatura mediante el campus virtual. Se recomienda visitarlo permanentemente. Se informará a los alumnos de la celebración de seminarios/conferencias de su interés organizados por el Dpto. de Estadística e I.O., aconsejando su asistencia.

f. Evaluación

Tanto en la convocatoria ordinaria como en la extraordinaria el alumno tiene dos opciones de evaluación:

1. Sistema de evaluación continua: según el plan de trabajo del apartado anterior, en la evaluación se tendrán en cuenta los trabajos propuestos, el examen parcial 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 calificación final de la asignatura coincide con la del examen final.

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 Alma 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

- BAZARAA, JARVIS & SHERALI (1998). *Programación Lineal y Flujo en Redes*. (Ed. Limusa)
- G. GHIANI, G. LAPORTE, R. MUSMANNO, *Introduction to logistics systems planning and control*. John Wiley & Sons, cop. 2004
- C. GUÉRET, C. PRINS y M. SEVAUX, *Applications of optimization with Xpress-MP*, Dash Optimization Ltd., 2000
- RARDIN. (1998). *Optimization in Operations Research*. (Prentice Hall).
- WOLSEY (1998), *Integer Programming*, (John Wiley & Sons).

g.2 Bibliografía complementaria

- AHUJA, MAGNANTI & ORLIN *Network Flows: Theory, Algorithms and Applications*, Prentice Hall 1993.
- DASKIN *Network and Discrete Location: Models, Algorithms and Applications*, Wiley 1995.

**g.3 Otros recursos telemáticos (píldoras de conocimiento, blogs, videos, revistas digitales, cursos masivos (MOOC), ...)****h. Recursos necesarios**

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.

Por otra parte, en el Campus Virtual se encontrará a disposición del alumno apuntes sobre casi todos los temas de la asignatura, el programa Xpress-Mosel, con el que se efectuarán todas las prácticas, y diverso material.

i. Temporalización

PARTE	CARGA ECTS	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO
Optimización en redes	1.8	14/02/2022-13/03/2022
Programación entera	4.2	14/03/2022-26/05/2022

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 ⁽¹⁾	HORAS	ACTIVIDADES NO PRESENCIALES	HORAS
Clases de teoría y problemas (T)	23	Estudio y trabajo personal	60
Laboratorios (L)	30	Preparación de examen parcial	7
Presentación de la asignatura	1	Preparación de prácticas de laboratorio	10
Pruebas de evaluación	6	Preparación de exposiciones orales	5
		Preparación de examen final	8
Total presencial	60	Total no presencial	90
TOTAL presencial + no presencial			150

(1) Actividad presencial a distancia es cuando un grupo sigue una videoconferencia de forma síncrona a la clase impartida por el profesor para otro grupo presente en el aula.

7. Sistema y características de la evaluación**1. Evaluación continua:**

INSTRUMENTO/PROCEDIMIENTO	PESO EN LA NOTA FINAL	OBSERVACIONES
Examen parcial de la parte 1	20%	
Trabajos de prácticas	30%	
Examen final (parte manual)	20%	El peso es 100% si la calificación obtenida es inferior a 4 puntos sobre 10
Examen final (parte práctica)	30%	



2. Sólo examen final:

INSTRUMENTO/PROCEDIMIENTO	PESO EN LA NOTA FINAL	OBSERVACIONES
Examen final (parte manual)	40%	
Examen final (parte práctica)	60%	

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.

8. Consideraciones finales

Se informará a través del campus virtual de las actividades diarias que se prevén desarrollar en la asignatura a lo largo del curso, incluyendo las clases de aula y laboratorio dedicadas a teoría, problemas y prácticas. Las actividades de grupo se anunciarán en el aula y en el campus virtual con suficiente antelación.

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.