

## **Grado en Ingeniería de Organización Industrial**

### **30113 - Investigación operativa**

**Guía docente para el curso 2014 - 2015**

**Curso: 2, Semestre: 1 - 2, Créditos: 6.0**

---

### **Información básica**

---

#### **Profesores**

- **Silvia Vilariño Fernández** -
- **Martín Eugenio Avendaño González** -
- **Luis Mariano Esteban Escaño** -
- **Rubén Vigara Benito** -

#### **Recomendaciones para cursar esta asignatura**

Es recomendable que el estudiante posea conocimientos básicos de Álgebra lineal y nociones básicas de estadística. Asimismo es altamente valorable que este familiarizado con el uso de programas de cálculo simbólico y numérico

#### **Actividades y fechas clave de la asignatura**

La impartición de las clases a lo largo de las 15 semanas docentes se realizará en el aula de informática, se impartirán conceptos teóricos que serán reforzados con la aplicación práctica en resolución de ejercicios y análisis de datos mediante el uso permanente de herramientas de tipo informático.

Se realizarán tres pruebas escritas a lo largo del curso. Además, se realizará un trabajo de tipo individual y dos en grupo. El trabajo continuado en el aula también sera evaluado con la realización de 4 controles de tipo participativo, consistente en la resolución de ejercicios

La impartición de las clases será a lo largo de las 15 semanas lectivas, se tratarán conceptos teóricos que serán reforzados con la aplicación práctica en resolución de ejercicios y análisis de casos prácticos mediante el uso de herramientas de tipo informático. Se realizarán pruebas escritas sobre las materias de programación lineal, optimización en redes y teoría de la decisión a lo largo del curso. Además, se realizarán tareas aplicadas sobre modelización y optimización. El trabajo en el aula también será evaluado mediante un seguimiento de tipo continuado.

---

### **Inicio**

---

### **Resultados de aprendizaje que definen la asignatura**

## **El estudiante, para superar esta asignatura, deberá demostrar los siguientes resultados...**

**1:**

Identificar y formular modelos de investigación operativa a partir de la descripción verbal del sistema real.

Identificar y formular modelos de investigación operativa a partir de la descripción verbal del sistema real.

**2:**

Manejar los fundamentos matemáticos necesarios para la resolución de problemas de optimización.

Manejar los fundamentos matemáticos necesarios para la resolución de problemas de optimización.

**3:**

Justificar el modelo elegido y la técnica de resolución empleada dado un problema de optimización.

Justificar el modelo elegido y la técnica de resolución empleada dado un problema de optimización.

**4:**

Utilizar programas informáticos para la resolución de los modelos propuestos.

**5:**

Elaborar un informe que presente el modelo y la técnica de resolución, analice los resultados, y proponga las recomendaciones, en lenguaje comprensible para la toma de decisiones en procesos de gestión y organización industrial.

Elaborar un informe que presente el modelo y la técnica de resolución, analice los resultados, y proponga las recomendaciones, en lenguaje comprensible para la toma de decisiones en procesos de gestión y organización industrial.

## **Introducción**

### **Breve presentación de la asignatura**

La asignatura está diseñada como una introducción a la teoría de la optimización y un acercamiento a la simulación de sistemas y toma de decisiones. Se engloba dentro de los créditos de formación básica de un ingeniero. Se recogen contenidos esenciales de investigación operativa como programación lineal, modelos de flujo en redes o técnicas de decisión multicriterio.

La asignatura tiene un enfoque claramente práctico al ser la Investigación Operativa una materia de carácter aplicado dentro del ámbito de la Ingeniería.

---

## **Contexto y competencias**

---

### **Sentido, contexto, relevancia y objetivos generales de la asignatura**

#### **La asignatura y sus resultados previstos responden a los siguientes planteamientos y objetivos:**

La asignatura recoge diversas técnicas cuantitativas encaminadas a la toma de decisiones en el ámbito de la empresa. El desarrollo de estas técnicas se presenta al alumno con la mayor simplificación del aparato matemático posible, incidiendo en los aspectos aplicados con el uso de herramientas de tipo informático.

La modelización de problemas reales y su resolución mediante la teoría de la optimización introduce al alumno en la toma de decisiones. Se persigue que el alumno sea capaz de identificar, analizar, formular y resolver problemas reales de decisión relacionados con la organización y gestión de sistemas productivos.

Será fundamental que el alumno adquiera la capacidad para determinar la mejor estrategia de actuación con el fin de mejorar el funcionamiento de un sistema y saber tomar decisiones a partir de la solución de un problema.

Se persigue un carácter práctico en el curso, donde prima la resolución de problemas y el manejo de herramientas informáticas básicas sobre el desarrollo exhaustivo de contenidos matemáticos relacionados

con los temas propuestos

La asignatura recoge diversas técnicas cuantitativas encaminadas a la toma de decisiones en el ámbito de la empresa. El desarrollo de estas técnicas se presenta al alumno con la mayor simplificación del aparato matemático posible, incidiendo en los aspectos aplicados con el uso de herramientas de tipo informático.

La modelización de problemas reales y su resolución mediante la teoría de la optimización introduce al alumno en la toma de decisiones.

Se persigue que el alumno sea capaz de identificar, analizar, formular y resolver problemas reales de decisión relacionados con la organización y gestión de sistemas productivos.

Será fundamental que el alumno adquiera la capacidad para determinar la mejor estrategia de actuación con el fin de mejorar el funcionamiento de un sistema y saber tomar decisiones a partir de la solución de un problema.

Se persigue un carácter práctico en el curso, donde prima la resolución de problemas y el manejo de herramientas informáticas básicas sobre el desarrollo exhaustivo de contenidos matemáticos relacionados con los temas propuestos.

## **Contexto y sentido de la asignatura en la titulación**

La asignatura es obligatoria y forma parte de la formación básica de los estudiantes. Forma parte del segundo curso del plan de estudios del Grado de Ingeniería en Organización Industrial, lo que supone que el estudiante ha adquirido formación en los resultados de aprendizaje en la asignatura Matemáticas I, Matemáticas II y Estadística. Además, la Investigación Operativa proporciona destrezas en herramientas que serán de utilidad en distintas asignaturas de cursos posteriores.

Casi todas las salidas profesionales de un ingeniero en organización industrial, involucran procesos de tomas de decisiones, además de requerir una cierta destreza en el conocimiento de modelos matemáticos básicos. Por todo ello, es necesaria una formación básica en la “ciencia de las decisiones”: la Investigación Operativa. La Investigación de Operaciones ha tenido un impacto impresionante en el mejoramiento de la eficiencia de numerosas y diversas organizaciones en todo el mundo. Se podrían citar sus aportaciones a los problemas de producción, al uso eficiente de materiales y fiabilidad de los mismos, a la investigación básica y al desarrollo de nuevos productos. Como en las demás ciencias, la Investigación de Operaciones viene a ser una herramienta vital para los ingenieros, ya que les permite comprender fenómenos sujetos a variaciones y predecirlos o controlarlos de forma eficaz.

## **Al superar la asignatura, el estudiante será más competente para...**

**1:**

Capacidad para resolver problemas y tomar decisiones con iniciativa, creatividad y razonamiento crítico.

**2:**

Capacidad para comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en castellano.

**3:**

Capacidad para trabajar en un grupo multidisciplinar y en un entorno multilingüe.

**4:**

Capacidad para aprender de forma continuada y desarrollar estrategias de aprendizaje autónomo.

**5:**

Capacidad para la resolución de los problemas matemáticos que puedan plantearse en la ingeniería.

Aptitud

para aplicar los conocimientos sobre: estadística y optimización.

Capacidad para la resolución de los problemas matemáticos que puedan plantearse en la ingeniería. Aptitud para aplicar los conocimientos sobre: estadística y optimización.

**6:**

Conocimientos y capacidades para aplicar métodos cuantitativos de decisión en las organizaciones.

## **Importancia de los resultados de aprendizaje que se obtienen en la asignatura:**

La investigación de operaciones es una manera de abordar la toma de decisiones en la empresa, que se basa en el método científico y que utiliza el análisis cuantitativo.

La investigación de operaciones se aplica a problemas que se refieren a la conducción y coordinación de actividades dentro de una organización. Se ha aplicado de manera extensa en áreas tan diversas como el transporte, la producción o los servicios públicos, por nombrar algunas.

La formulación del problema, la construcción de un modelo matemático que resuma la esencia del problema real, y la validez de dicho modelo son aspectos fundamentales en la optimización de recursos.

Justificar el modelo elegido y la técnica de resolución empleada dado un problema de optimización, es lo que da validez al propio resultado y permite la mejora en el sistema.

La investigación de operaciones es una manera de abordar la toma de decisiones en la empresa, que se basa en el método científico y que utiliza el análisis cuantitativo.

La investigación de operaciones se aplica a problemas que se refieren a la conducción y coordinación de actividades dentro de una organización. Se ha aplicado de manera extensa en áreas tan diversas como el transporte, la producción o los servicios públicos, por nombrar algunas. La formulación del problema, la construcción de un modelo matemático que resuma la esencia del problema real, y la validez de dicho modelo son aspectos fundamentales en la optimización de recursos. Justificar el modelo elegido y la técnica de resolución empleada dado un problema de optimización, es lo que da validez al propio resultado y permite la mejora en el sistema.

---

## Evaluación

---

### Actividades de evaluación

**El estudiante deberá demostrar que ha alcanzado los resultados de aprendizaje previstos mediante las siguientes actividades de evaluación**

**1:**

Pruebas teórico-prácticas (70% de la nota final)

Estas pruebas consistirán en exámenes parciales, controles participativos y exámenes con preguntas sobre teoría y problemas de la materia cubierta en la asignatura. En estas pruebas se evaluará:

- el entendimiento de los conceptos matemáticos usados para resolver los problemas.
- el uso de estrategias y procedimientos eficientes en su resolución.
- explicaciones claras y detalladas.
- la ausencia de errores matemáticos en el desarrollo y las soluciones.
- uso correcto de la terminología y notación
- exposición ordenada, clara y organizada.

Pruebas aplicadas (30% de la nota final)

Estas pruebas sirven para evaluar el conocimiento práctico del alumno de la asignatura, serán del tipo: prácticas de ordenador, trabajos individuales y en grupos pequeños, resolución de problemas con el ordenador. Los criterios de evaluación seguirán las pautas siguientes:

- el dominio y uso correcto de los comandos del software matemático necesarios para resolver los problemas.
- la correcta resolución de los problemas y los métodos y estrategias matemáticas empleadas.
- el detalle del código utilizado en la resolución de los problemas.
- la correcta interpretación de los resultados obtenidos.
- la capacidad para seleccionar el método más apropiado.
- explicaciones y/o razonamientos claros y detallados a las preguntas realizadas.
- el resultado y calidad final del trabajo.
- la calidad y coordinación en la exposición del mismo.
- el lenguaje matemático utilizado.
- la calidad de las fuentes bibliográficas.
- el trabajo en equipo.
- la actitud mostrada durante el desarrollo del trabajo, así como la mayor o menor participación en el mismo.

---

## Actividades y recursos

### Perfil empresa

---

### Presentación metodológica general

#### **El proceso de aprendizaje que se ha diseñado para esta asignatura se basa en lo siguiente:**

La asignatura está diseñada como una introducción a la teoría de la optimización y un acercamiento a la simulación de sistemas y toma de decisiones. Se engloba dentro de los créditos de formación básica de un ingeniero. Se recogen contenidos esenciales de investigación operativa como programación lineal, modelos de flujo en redes o técnicas de decisión multicriterio.

La asignatura tiene un enfoque claramente práctico al ser la Investigación Operativa una materia de carácter aplicado dentro del ámbito de la Ingeniería.

### Actividades de aprendizaje programadas (Se incluye programa)

#### **El programa que se ofrece al estudiante para ayudarle a lograr los resultados previstos comprende las siguientes actividades...**

**1:**

La asignatura se articula con 4 horas de clase presencial a la semana durante las 15 semanas que dura el cuatrimestre. Todas las horas se imparten en el aula de informática, donde se imparten conceptos teóricos que son reforzados con el trabajo práctico mediante el uso de programas de análisis estadístico.

La asignatura se articula con 4 horas de clase presencial a la semana durante las 15 semanas que dura el cuatrimestre. Todas las horas se imparten en el aula de informática, se imparten conceptos teóricos que son reforzados con el trabajo práctico mediante el uso de programas de análisis estadístico.

**2:**

Trabajo autónomo tutorizado: 2 horas semanales durante 12 semanas donde el alumno trabaja de forma autónoma en el aula de informática en la realización de trabajos.

Trabajo personal: 60 horas.

## Planificación y calendario

### Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos

Los contenidos

- Metodología de la Investigación Operativa.
- Programación lineal: métodos de resolución, dualidad y análisis de sensibilidad.
- Modelos de flujo en redes.
- Técnicas de decisión multicriterio.
- Análisis de decisiones en entornos de incertidumbre y de riesgo.
- Teoría de juegos.

serán desarrollados a lo largo de las 15 semanas lectivas con los siguientes pesos:

1. Metodología de la Investigación Operativa. 0,5-1,5 créditos
2. Problemas de optimización lineales 2,5-3,5 créditos
3. Técnicas de decisión multicriterio 0,5-1,5 créditos

#### 4. Análisis de decisiones en presencia de incertidumbre 1-2 créditos

Una planificación mas detallada será publicada en la página web de la Escuela.

Los contenidos:

- Metodología de la Investigación Operativa.
- Programación lineal: métodos de resolución, dualidad y análisis de sensibilidad.
- Modelos de flujo en redes.
- Técnicas de decisión multicriterio.
- Análisis de decisiones en entornos de incertidumbre y de riesgo.
- Teoría de juegos.

serán desarrollados a lo largo de las 15 semanas lectivas con los siguientes pesos:

1. Metodología de la Investigación Operativa. 0,5-1,5 créditos
2. Problemas de optimización lineales 2,5-3,5 créditos
3. Técnicas de decisión multicriterio 0,5-1,5 créditos
4. Análisis de decisiones en presencia de incertidumbre 1-2 créditos

## Evaluación

### Actividades de evaluación específicas

#### 1: Pruebas escritas:

A lo largo del curso se realizarán dos pruebas escritas. Versaran sobre aspectos teóricos y/o prácticos de la asignatura. Su peso en la calificación es del 50%. Los resultados de aprendizaje con los que están relacionados son el 1, 2, 3 y 4.

En las pruebas escritas se evaluará:

- el entendimiento de los conceptos matemáticos usados para resolver los problemas
- el uso de estrategias y procedimientos eficientes en su resolución
- explicaciones claras y detalladas
- la ausencia de errores matemáticos en el desarrollo y las soluciones
- uso correcto de la terminología y notación
- exposición ordenada, clara y organizada

#### 2:

#### Trabajo en grupo:

Los alumnos de cada clase formaran grupos de dos personas que, en casos excepcionales, podrán ser de tres personas tras aprobación del profesor. A cada grupo se le asignara un trabajo que deberá entregar y exponer en clase. Todo alumno deberá participar en un trabajo grupal a lo largo del curso. El trabajo tiene un peso en la nota final de un 15%. Los resultados de aprendizaje con los que están relacionados son el 1, 2, 3, 4 y 5.

En los trabajos en grupo se valorará:

- el dominio y uso correcto de los comandos del software matemático necesarios para resolver los problemas
- la correcta resolución de los problema y los métodos y estrategias matemáticas empleadas
- el detalle del código utilizado en la resolución de los problemas

- la correcta interpretación de los resultados obtenidos
- la capacidad para seleccionar el método más apropiado
- explicaciones y/o razonamientos claros y detallados a las preguntas realizadas
- el resultado y calidad final del trabajo
- la calidad y coordinación en la exposición del mismo
- el lenguaje matemático utilizado
- la calidad de las fuentes bibliográficas
- el trabajo en equipo
- la actitud mostrada durante el desarrollo del trabajo, así como la mayor o menor participación en el mismo

**3:**

**Trabajo individual:**

El alumno deberá entregar un trabajo individual. El profesor podrá exigir la defensa oral del trabajo por parte del alumno. Su peso en la nota final será de un 15%. Los resultados de aprendizaje con los que están relacionados son el 1,2, 3 , 4 y 5.

En el trabajo individual se evaluará:

- el dominio y uso correcto de los comandos del software matemático necesarios para resolver los problemas
- la correcta resolución de los problema y los métodos y estrategias matemáticas empleadas
- el detalle del código utilizado en la resolución de los problemas
- la correcta interpretación de los resultados obtenidos
- la capacidad para seleccionar el método más apropiado
- explicaciones y/o razonamientos claros y detallados a las preguntas realizadas
- el resultado y calidad final del trabajo
- la calidad y coordinación en la exposición del mismo
- el lenguaje matemático utilizado
- la calidad de las fuentes bibliográficas

**4:**

**Controles participativos:**

A lo largo del curso el alumno realizará 4 controles de tipo participativo valorados en un 5% de la nota final, que consistirán en la realización de ejercicios de tipo práctico o cuestionarios evaluativos programados a través de la plataforma virtual moodle. Los resultados de aprendizaje con los que están relacionados son el 1, 2, 3 y 4.

En los controles participativos se evaluará:

- el entendimiento de los conceptos matemáticos usados para resolver los problemas
- el uso de estrategias y procedimientos eficientes en su resolución
- explicaciones claras y detalladas
- la ausencia de errores matemáticos en el desarrollo y las soluciones
- uso correcto de la terminología y notación

- exposición ordenada, clara y organizada

A lo largo del curso el alumno realizará 4 controles de tipo participativo valorados en un 5% de la nota final, que consistirán en la realización de ejercicios de tipo práctico o cuestionarios evaluativos programados a través de la plataforma virtual moodle. Los resultados de aprendizaje con los que están relacionados son el 1, 2, 3 y 4.

En los controles participativos se evaluará:

- el entendimiento de los conceptos matemáticos usados para resolver los problemas
- el uso de estrategias y procedimientos eficientes en su resolución
- explicaciones claras y detalladas
- la ausencia de errores matemáticos en el desarrollo y las soluciones
- uso correcto de la terminología y notación

- exposición ordenada, clara y organizada

**5:**

#### **Evaluación global:**

Los alumnos que no hayan superado la asignatura con el sistema de calificación continuada, deberán realizar en las convocatorias oficiales una prueba escrita de carácter obligatorio equivalente a las pruebas escritas descritas en el punto 1, cuyo peso en la nota final será del 70%, además deberá presentarlos trabajos en grupo e individual que se le hayan adjudicado a lo largo del curso siendo su peso un 30% de la nota final.

Los criterios de evaluación serán los expuestos en los apartados anteriores.

## **Actividades y recursos**

### **Perfil defensa**

## **Presentación metodológica general**

### **El proceso de aprendizaje que se ha diseñado para esta asignatura se basa en lo siguiente:**

En esta asignatura estudiaremos, principalmente, problemas de programación lineal que resolveremos mediante el método Simplex. También veremos ciertos problemas que pueden modelarse mediante teoría de grafos y que pueden resolverse por métodos combinatorios (ruta más corta, árbol de expansión mínima, flujo máximo en redes, etc). Por último, haremos una breve incursión en la teoría de juegos, donde veremos cómo resolver juegos de dos jugadores y suma cero.

El plan es seguir el libro de Taha para la parte de programación lineal (capítulos 1-4, 8 y 9) y grafos (capítulos 5 y 6). Para la parte de teoría de juegos seguiremos el libro de Owen (capítulos 1 y 2), aunque el libro de Taha también recoge la forma normal de un juego (capítulo 14).

## **Actividades de aprendizaje programadas (Se incluye programa)**

### **El programa que se ofrece al estudiante para ayudarle a lograr los resultados previstos comprende las siguientes actividades...**

**1:**

Antes del inicio del semestre correspondiente, los profesores de la asignatura hacen público a sus alumnos el programa de actividades a través de la plataforma Moodle que pueden consultar autenticándose con su usuario y contraseña en la dirección <http://moodle.unizar.es>

Allí encontrarán el programa detallado de la asignatura, los materiales y bibliografía recomendada y otras recomendaciones para cursarla.

También se puede encontrar información como calendarios y horarios a través de la página web del Centro Universitario de la Defensa: <http://cud.unizar.es>

- 2:** Las unicas actividades con nota seran: un examen parcial, un examen final y algunas actividades practicas durante el curso. Los examenes seran teorico-practicos.

El parcial cubre los temas de programacion lineal. El final abarca toda la asignatura. En la segunda convocatoria habra solamente un examen que determinara la nota final del estudiante que se haya presentado a dicho examen.

**3:**

Durante el curso utilizaremos el programa GNU Octave. Este puede descargarse gratuitamente del sitio <http://octave.sourceforge.net/>. La idea es utilizar la funcion glpk() para explorar problemas de programacion lineal con muchas variables y restricciones, asi como verificar las respuestas a los problemas de las guias.

## Planificación y calendario

### Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos

Dividiremos la asignatura en tres grandes bloques: Programacion Lineal, Teoria de Grafos y Teoria de Juegos.

Programacion Lineal (8 semanas):

- 1) Modelado. Resolucion grafica (2 variables). Clasificacion de problemas de PL. Resolucion con el ordenador.
- 2) Forma estandar. Soluciones basicas y factibles. Condicion de optimalidad. Metodo Simplex (fase II). Regla de Bland.
- 3) Variables artificiales. Metodo Simplex (fase I). Metodo de la M grande.
- 4) Dualidad. Teorema de la holgura complementaria. Metodo Simplex Dual.
- 5) Analisis de Sensibilidad. Cambios en A, b, c. Nuevas variables y nuevas restricciones. Precios sombra.
- 6) Metodos multicriterio: lexicografico y ponderacion.
- 7) Programacion lineal entera. Metodo de ramificacion y acotamiento. Metodo del plano cortante.

Teoria de grafos (3 semanas):

- 1) Definiciones basicas: grafo, vertice, arista, camino, ciclo. Grafos dirigidos y no dirigidos. Matrices de adyacencia e incidencia. Arboles y bosques. Grafos Eulerianos y Hamiltonianos.
- 2) Problema de la ruta mas corta. Metodos de Dijkstra y Bellman-Ford.
- 3) Arbol de expansion minima. Metodos de Prim y Kruskal.
- 4) Flujo maximo en redes. Metodo de Ford-Fulkerson.
- 5) Modelado de problemas de grafos mediante programacion lineal. Problema del transporte, asignacion de tareas, flujo maximo capacitado, etc. Matrices totalmente unimodulares.

Teoria de Juegos (3 semanas):

- 1) Forma extensiva. Resolucion de juegos de 2 jugadores, suma cero e informacion perfecta via retropropagacion y programacion dinamica.
- 2) Estrategias. Forma normal. Dominacion y puntos silla. Estrategias mixtas. Resolucion de juegos de 2 jugadores de suma cero mediante programacion lineal.

## Referencias bibliográficas de la bibliografía recomendada

### Centro Universitario de la Defensa

- Ahuja, Ravindra K. Network Flows : Theory, Algorithms, and Applications / Ravindra K. Ahuja, Thomas L. Magnanti, James B. Orlin . Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice-Hall, cop. 1993
- Bazaraa, Mokhtar S. Linear programming and network flows / Mokhtar S. Bazaraa, John J. Jarvis, Hanif D. Sherali . 2nd ed. New York [etc.] : Wiley & Sons, cop. 1990
- Brickman, L. Mathematical Introduction to Linear Programming and Game Theory. Springer, 1989

- Hillier, Frederick S. Introducción a la investigación de operaciones / Frederick S. Hillier, Gerald J. Lieberman ; revisión técnica, Guillermo Martínez del Campo V., Ernesto A. Pacheco . - 9a. ed. México [etc.] : McGraw-Hill, cop. 2010
- Owen, Guillermo. Game theory / Guillermo Owen . 3th ed. New York ; London : Academic Press, 1995
- Straffin, P.D. Game Theory and Strategy. AMS, 1993
- Taha, Hamdy A. Investigación de operaciones / Hamdy A. Taha; traducción Virgilio González Porro . 7<sup>a</sup> ed. México [etc.] : Pearson Educación, 2004

#### **Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia**

- Bazaraa, Mokhtar S.. Programación lineal y flujo en redes / Mokhtar S. Bazaraa , John J. Jarvis . - 2a. ed. México : Limusa, op. 1998
- Castillo,E.. Formulación y resolución de modelos de programación matemática en ingeniería y ciencia / Enrique Castillo. - 1-<sup>a</sup>edición Universidad de Castilla-La Mancha, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, 2002
- Hillier, Frederick S.. Investigación de Operaciones / Frederick S. Hillier, Gerald J. Lieberman ; Casos desarrollados por Karl Schmedders y Molly Stephens ; Tutorial de software desarrollado por Mark Hillier y Michael O'Sullivan . - 7a ed. México [etc.] : McGraw-Hill, 2001
- Problemas de investigación operativa / Sixto Ríos Insúa. Problemas de investigación operativa / Sixto Ríos Insúa...[et al.]. - 1<sup>a</sup>edición Madrid : Rama, 2006
- Taha, Hamdy A.. Investigación de operaciones / Hamdy A. Taha; traducción Virgilio González Porro . - 7<sup>a</sup> ed. México [etc.] : Pearson Educación, 2004