



## FICHA TÉCNICA DE LA ASIGNATURA

Datos de la asignatura	
Nombre completo	Investigación Operativa
Código	DOI-GITI-412
Título	<a href="#">Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales por la Universidad Pontificia Comillas</a>
Impartido en	Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales y Grado en Administración y Dirección de Empresas [Cuarto Curso] Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales [Cuarto Curso]
Nivel	Reglada Grado Europeo
Cuatrimestre	Semestral
Créditos	6,0 ECTS
Carácter	Obligatoria (Grado)
Departamento / Área	Departamento de Organización Industrial
Responsable	Andrés Ramos
Horario de tutorías	Previa petición por correo electrónico

Datos del profesorado	
<b>Profesor</b>	
Nombre	Miguel Álvarez García
Departamento / Área	Departamento de Organización Industrial
Correo electrónico	malvarezg@icai.comillas.edu
<b>Profesor</b>	
Nombre	Pablo Dueñas Martínez
Correo electrónico	pablo.duenas@iit.comillas.edu
<b>Profesor</b>	
Nombre	Rafael Espejo González
Correo electrónico	rafael.espejo@comillas.edu
<b>Profesor</b>	
Nombre	Sara Lumbreras Sancho
Departamento / Área	Departamento de Organización Industrial
Despacho	Santa Cruz de Marcenado 26 [D-104]
Correo electrónico	Sara.Lumbreras@iit.comillas.edu
<b>Profesor</b>	
Nombre	Andrés Ramos Galán
Departamento / Área	Departamento de Organización Industrial
Despacho	Santa Cruz de Marcenado 26 [D-603]



<b>Correo electrónico</b>	Andres.Ramos@comillas.edu
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Ramón Rodríguez Riesco
<b>Departamento / Área</b>	Departamento de Organización Industrial
<b>Correo electrónico</b>	rrodriguez@icai.comillas.edu

## DATOS ESPECÍFICOS DE LA ASIGNATURA

### Contextualización de la asignatura

#### Aportación al perfil profesional de la titulación

En el perfil profesional del graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, esta asignatura pretende profundizar y ampliar los conocimientos de técnicas matemáticas de apoyo a la toma de decisiones.

Al finalizar el curso los alumnos dominarán la formulación y el modelado de problemas de optimización y decisión, conocerán las diferentes alternativas de modelado y las técnicas existentes para resolver modelos de investigación operativa. En particular se pretende conseguir que el alumno sea capaz de:

- Reconocer los diversos campos en los que se aplican técnicas de investigación operativa
- Modelar sistemas característicos de diferentes sectores empresariales mediante técnicas de investigación operativa
- Comprender y aplicar técnicas empleadas en la toma de decisiones que afectan al comportamiento de sistemas
- Analizar e interpretar las soluciones obtenidas de las distintas técnicas aplicadas
- Plantear y resolver modelos concretos de sistemas utilizando un lenguaje algebraico de modelado
- Analizar y sintetizar la información recibida y transmitir en forma adecuada, tanto en forma escrita como verbal, el contenido de la práctica de modelado realizada
- Aprender a trabajar en equipo en la realización de prácticas

Esta asignatura tiene un carácter mixto teórico-práctico por lo que a los componentes teóricos se les añaden los de carácter práctico, tanto la resolución de cuestiones numéricas como la realización de trabajos prácticos de modelado en los que se ejercitarán los conceptos estudiados.

#### Prerequisitos

Conocimientos básicos imprescindibles de álgebra, estadística y cálculo.

### Competencias - Objetivos

#### Competencias

##### GENERALES

<b>CG01</b>	Capacidad para el desarrollo de proyectos en el ámbito de la Ingeniería Industrial.
<b>CG02</b>	Capacidad para la dirección de proyectos de Ingeniería en el ámbito industrial.
<b>CG09</b>	Capacidad de organización y planificación en el ámbito de la empresa, y otras instituciones y organizaciones.
<b>CG10</b>	Capacidad de trabajar en un entorno multilingüe y multidisciplinar.



ESPECÍFICAS	
<b>CFB01</b>	Capacidad para la resolución de los problemas matemáticos que puedan plantearse en la ingeniería. Aptitud para aplicar los conocimientos sobre: álgebra lineal; geometría; geometría diferencial; cálculo diferencial e integral; ecuaciones diferenciales y en derivadas parciales; métodos numéricos; algorítmica numérica; estadística y optimización.
<b>CRI09</b>	Conocimientos básicos de los sistemas de producción y fabricación.
<b>CRI12</b>	Conocimientos y capacidades para organizar y gestionar proyectos. Conocer la estructura organizativa y las funciones de una oficina de proyectos.

Resultados de Aprendizaje	
<b>RA1</b>	Reconocer los diversos campos en los que se aplican técnicas de investigación operativa
<b>RA2</b>	Modelar sistemas característicos de diferentes sectores empresariales mediante técnicas de investigación operativa
<b>RA3</b>	Comprender y aplicar técnicas empleadas en la toma de decisiones que afectan al comportamiento de sistemas
<b>RA4</b>	Analizar e interpretar las soluciones obtenidas de las distintas técnicas aplicadas
<b>RA5</b>	Plantear y resolver modelos concretos de sistemas utilizando un lenguaje algebraico de modelado
<b>RA6</b>	Analizar y sintetizar la información recibida y transmitir en forma adecuada, tanto en forma escrita como verbal, el contenido de la práctica de modelado realizada
<b>RA7</b>	Aprender a trabajar en equipo en la realización de prácticas
<b>RA8</b>	Capacidad para programar y optimizar recursos en la gestión de proyectos.

## BLOQUES TEMÁTICOS Y CONTENIDOS

Contenidos – Bloques Temáticos
<b>Optimización y modelado</b>
Modelado lineal y lineal entero. Problemas clásicos de optimización. Decisión multicriterio.
<b>Optimización lineal, lineal entera y no lineal</b>
Método simplex. Método de ramificación y corte. Método de Newton.
<b>Teoría de la decisión y de juegos</b>
Criterios en la toma de decisiones. Árboles de decisión. Teorema de Bayes. Juegos rectangulares y bipersonales. Punto de equilibrio.
<b>Simulación y teoría de colas</b>



Modelado con simulación de eventos discretos. Software de simulación. Generación de aleatoriedad en simulación. Análisis de resultados. Procesos poissonianos. Modelos clásicos de redes de colas. Modelos de sistemas cerrados.

### Programación y optimización de recursos

PERT. Software de gestión de proyectos. Planificación de proyectos.

## METODOLOGÍA DOCENTE

### Aspectos metodológicos generales de la asignatura

Con el fin de conseguir el desarrollo de competencias propuesto, la materia se desarrollará teniendo en cuenta la actividad del alumno como factor prioritario. Ello implicará que tanto las sesiones presenciales como las no presenciales promoverán la implicación activa de los alumnos en las actividades de aprendizaje.

### Metodología Presencial: Actividades

- Clase magistral y presentaciones generales:** El profesor explicará los conceptos fundamentales de cada tema incidiendo en lo más importante y a continuación se explicarán una serie de problemas tipo, gracias a los cuáles se aprenderá a identificar los elementos esenciales del planteamiento y la resolución de problemas del tema.
- Resolución de problemas de carácter práctico o aplicado:** En estas sesiones se explicarán, corregirán y analizarán problemas análogos y de mayor complejidad de cada tema previamente propuestos por el profesor y trabajados por el alumno.
- Trabajos de carácter práctico individual o en grupo.** Se realizarán en grupos o de forma individual y en ellas los alumnos ejercitarán los conceptos y técnicas estudiadas, familiarizándose con el entorno material y humano del trabajo en el desarrollo de un modelo.

CG10, CFB01, CRI09, CRI12

### Metodología No presencial: Actividades

- Trabajos de carácter práctico individual o en grupo:** el caso de estudio de optimización es un trabajo en grupo que incluye la preparación de un informe, el caso de estudio de simulación se llevará a cabo de forma individual dentro del aula.
- Estudio de conceptos teóricos fuera del horario de clase por parte del alumno:** Estudio individual y personal por parte del alumno de los conceptos expuestos en las lecciones expositivas. Resolución de problemas prácticos que se corregirán en clase.

CG01, CG02, CG09, CG10

El objetivo principal del trabajo no presencial es llegar a entender y comprender los conceptos teóricos de la asignatura, así como ser capaz de poner en práctica estos conocimientos para resolver los diferentes tipos de problemas.

## RESUMEN HORAS DE TRABAJO DEL ALUMNO

HORAS PRESENCIALES		
Clase magistral y presentaciones generales	Prácticas de casos de modelado	Resolución de problemas de carácter práctico o aplicado
28.00	4.00	28.00



### HORAS NO PRESENCIALES

Trabajos de carácter práctico individual o de grupo	Estudio de conceptos teóricos fuera del horario de clase por parte del alumno
40.00	80.00

CRÉDITOS ECTS: 6,0 (180,00 horas)

### EVALUACIÓN Y CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

Actividades de evaluación	Criterios de evaluación	Peso
<p><b>Exámenes de carácter teórico-práctico:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Exámenes intercuatrimestrales.</li> <li>Examen final.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comprensión de conceptos.</li> <li>Aplicación de conceptos a la resolución de problemas.</li> <li>Análisis e interpretación de los resultados obtenidos.</li> </ul>	70 %
<p><b>Evaluación continua del rendimiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Casos de estudio desarrollados por los alumnos</li> <li>Ejercicios o problemas resueltos de manera individual o en grupo</li> <li>Participación en clase</li> <li>Asistencia y actitud en clase</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Calidad del trabajo del caso de estudio:</b> El informe elaborado por el equipo ha de detallar la formulación y los resultados del caso de estudio.</li> <li><b>Aprendizaje adquirido en la resolución de ejercicios y problemas</b> de las distintas técnicas impartidas.</li> <li><b>Participación en clase:</b> Aportación enriquecedora a la asignatura por parte del estudiante mediante resolución de casos, comentarios sobre experiencias profesionales, opiniones, preguntas, etc.</li> <li><b>Asistencia:</b> Se aplica la normativa de asistencia que establece el Centro y se valora positivamente la asistencia por encima de los niveles exigibles.</li> <li><b>Actitud en clase:</b> Se valora positivamente la actitud correcta del estudiante en las distintas actividades de la asignatura en las que se requiera concentración o interacción con el profesor o con el resto de estudiantes.</li> </ul>	30 %

### Calificaciones

#### Convocatoria ordinaria

La calificación en la **convocatoria ordinaria** de la asignatura se obtendrá como:

- Un 20 % la calificación del caso de estudio de optimización
- Un 5 % la calificación del caso de estudio de simulación.



- Un 5 % la calificación de la participación activa del alumno en la exposición de contenidos teóricos y en la resolución de problemas en clase y el control de asistencia a clase.
- Un 70 % la calificación de exámenes (20 % la calificación de exámenes intercuatrimestrales y 50 % la del examen final). En cualquier caso para aprobar la asignatura se exigirá una calificación mínima de 4.0 en la calificación de exámenes (nota media de exámenes). Esta media se calcula como:  $1/7 * \text{nota del primer examen intercuatrimestral} + 1/7 * \text{nota del segundo intercuatrimestral} + 5/7 * \text{nota del examen final}$ . El resto de los conceptos (el caso de estudio de optimización y el de simulación, y la asistencia) solamente se tienen en cuenta en la nota final si la media de exámenes supera el 4.0.

Si un/a alumno/a ha asistido a menos del 80% de las clases presenciales, no tiene derecho de presentarse al examen final.

### Convocatoria extraordinaria

La calificación en la **convocatoria extraordinaria** de la asignatura se obtendrá como:

- Un 25 % la calificación que obtuvo el alumno en el caso de estudio de optimización y el de simulación.
- Un 5 % la calificación de la participación activa que obtuvo el alumno.
- Un 70 % la calificación del examen de la convocatoria extraordinaria. En cualquier caso, para aprobar la asignatura se exigirá una calificación mínima de 4.0 en la calificación de exámenes (nota media de exámenes). En el caso de la convocatoria extraordinaria esto significa que la nota mínima del examen extraordinario tiene que ser al menos un 4.0. El resto de los conceptos solamente se tienen en cuenta en la nota final si la media de exámenes supera el 4.0.

Si un/a alumno/a ha asistido a menos del 80% de las clases presenciales, no tiene derecho de presentarse al examen final.

## PLAN DE TRABAJO Y CRONOGRAMA

Actividades	Fecha de realización	Fecha de entrega
Lectura y estudio de los contenidos teóricos en el material docente	Después de cada clase	
Resolución de los problemas propuestos	Semanalmente	
Asignación del caso de estudio de optimización	En Septiembre (fecha exacta por concretar)	
Entrega de la formulación matemática de la práctica de optimización		Inicios de Octubre (fecha exacta por concretar)
Realización del caso de estudio de optimización		En Octubre (fecha exacta por concretar)
Realización del caso de estudio de simulación		Finales de Noviembre (fecha exacta por concretar)
Preparación de examen final	Diciembre	

## BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS

### Bibliografía Básica



# COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

**GUÍA DOCENTE**  
**2021 - 2022**

- F.S. Hillier, G.J. Lieberman Introduction to Operations Research, 11e. McGraw-Hill Higher Education. 2020
- A. Ramos, P. Sánchez, J.M. Ferrer, S. Wogrin. Modelos Matemáticos de Optimización. 2013.  
([https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/simio/apuntes/a\\_mmo1a.pdf](https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/simio/apuntes/a_mmo1a.pdf))  
([https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/simio/apuntes/a\\_mmo1b.pdf](https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/simio/apuntes/a_mmo1b.pdf))
- A. Ramos, P. Sánchez, J.M. Ferrer, S. Wogrin. Modelos Matemáticos de Técnicas Específicas de Optimización. 2013.  
([https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/simio/apuntes/a\\_mmo2.pdf](https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/simio/apuntes/a_mmo2.pdf))
- A. Ramos, P. Sánchez, J.M. Ferrer, J. Barquín, A. Campos, B. Vitoriano. Modelos Matemáticos de Simulación. 2009.  
([https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/simio/apuntes/a\\_mms.pdf](https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/simio/apuntes/a_mms.pdf))
- A. Sarabia, La investigación operativa. Una herramienta para la adopción de decisiones. Universidad Pontificia Comillas. 1996
- Slides of theory ([https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/intro\\_simio.htm](https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/intro_simio.htm))
- Practical problems (<https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/IO.htm>)
- Past exam problems (<https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/IO.htm>)
- Coding examples (<https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/IO.htm>)

En cumplimiento de la normativa vigente en materia de **protección de datos de carácter personal**, le informamos y recordamos que puede consultar los aspectos relativos a privacidad y protección de datos que ha aceptado en su matrícula entrando en esta web y pulsando "descargar"

<https://servicios.upcomillas.es/sedelectronica/inicio.aspx?csv=02E4557CAA66F4A81663AD10CED66792>

Está usted en: Inicio > Centros > Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI) > Instituto de Investigación Tecnológica > Andrés Ramos

[Principal] [Résumé/CV] [Material docente] [Operations Management] [Mathematical Methods] [Operations Research] [Técnicas de Optimización de Sistemas] [Modelado y Simulación de Sistemas] [Applied Optimization] [Statistics II] [Quantitative Decision Methods] [Optimization Techniques] [Deterministic Optimization] [Stochastic Optimization] [Investigación] [Open Models] [openSDUC] [openTEPES] [TEPES] [ROM] [StarNet] [FLOP] [iMetro]

### Operations Research (4th GITI+ADE, year 2021-22)

[Operational Research](#): scientific approach to the solution of problems in the management of complex systems.

[Operations Research & Analytics](#): enable organizations to turn complex challenges into substantial opportunities by transforming data into information, and information into insights for making better decisions and improving results.

L. Escudero y M.A. López [SEIO y la historia de la IO en España](#) Boletín de Estadística e Investigación Operativa 28 (1): 24-55, Feb 2012

The current table reflects in a realistic way the course development during the several sessions. It allows the student to know in advance what is going to happen in each session in order to prepare the subject and to organize its work adequately.

Date	Theory	Readings	Problems	Practice
Sep 1, 21	<a href="#">Extract</a> of the syllabus. <a href="#">Additional bibliography</a> . Hand out of class <a href="#">notes</a> and web page for <a href="#">slides</a> . Survey (motivation, expectations, difficulty, etc.)	J.R. Alonso <a href="#">Una Universidad nueva</a> El País 12/01/2009  <a href="#">FAQs About O.R. &amp; Analytics</a>		
Sep 1, 21	<a href="#">LECTURE NOTES about Optimization mathematical modeling</a> .  <a href="#">INTRODUCTION TO OPTIMIZATION AND MODELING</a> . OR definition. Historical introduction. Optimization definition. Classification of optimization methods. Model and modeling. Steps in developing a model.	<a href="#">Operations Research Time Line</a> <a href="#">Energy Systems Modeling (SADSE)</a>  J. Toczek <a href="#">The PuzzLOR</a>  A. Ramos <a href="#">Some IIT Operations Research Models for Electricity Markets</a> XIV Ibero-American Congress on Operations Research (CLAIO 2008) Cartagena de Indias, Colombia September 2008 ( <a href="#">Presentation</a> ) Sesión semiplenaria  M. Alvar, A. Arranz, A. Ramos, A. Sánchez, J. Villar <a href="#">Parking place demand and offer assignment</a> IIT-09-019A  A. Ramos, M.T. Peña, A. Fernández, P. Cucala <a href="#">Mathematical programming approach to underground timetabling problem for maximizing time synchronization</a> Revista de Dirección, Organización y Administración de Empresas CEPADE 35: 88-95 Junio 2008  S. Cerisola, A. Baïllo, J.M. Fernandez-Lopez, A. Ramos, R. Gollmer <a href="#">Stochastic Power Generation Unit Commitment in Electricity Markets: A Novel Formulation and A Comparison of Solution Methods</a> Operations Research 57 (1): 32-46 Jan-Feb 2009  S. Lumbreras and A. Ramos <a href="#">Optimal Design of the Electrical Layout of an Offshore Wind Farm: a Comprehensive and Efficient Approach Applying Decomposition Strategies</a> IEEE Transactions on Power Systems 28 (2): 1434-1441, May 2013 <a href="#">10.1109/TPWRS.2012.2204906</a>	Diet problem.	

#### Enlaces rápidos



Instituto de Investigación Tecnológica (IIT)



Departamento de Organización Industrial (DOI)



Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)



Universidad Pontificia Comillas

Promoción ICAI 82



Contact





P. Sánchez-Martín, A. Ramos, J.F. Alonso  
[Probabilistic mid-term transmission planning in a liberalized market](#) IEEE Transactions on Power Systems 20 (4): 2135-2142 Nov 2005

[ROADEF/EURO Challenge 2010: A large-scale energy management problem with varied constraints](#)

J.K. Delson and S.M. Shahidehpour [Linear Programming Applications to Power System Economics, Planning and Operations](#) IEEE Transactions on Power Systems (7) 3: 1155-1163 Aug 1992

A. Meric and M.E. Ceyhan [Operations Research Applications in Electronic Commerce: a Literature Review](#)

J. Board, Ch. Sutcliffe and W.T. Ziemba  
[Applying Operations Research Techniques to Financial Markets](#) Interfaces Vol 33, No. 2 pp. 12-24 Mar-Apr 2003

C. Barnhart, P. Belobaba, A.R. Odoni  
[Applications of Operations Research in the Air Transport Industry](#) Transportation Science Vol 37, No. 4 pp. 368-391 Nov 2003

H.E. Romeijn et al. [A New Linear Programming Approach to Radiation Therapy Treatment Planning Problems](#) Operations Research (54) 2: 201-216 Mar-Apr 2006

Sep 6, 21	<a href="#">MODELING WITH LINEAR PROGRAMMING.</a> Transportation problem. Transshipment problem.	Th.A. Grossman <a href="#">The Spreadsheet Analytic Value Chain</a> OR/MS Today Aug 2006	Team formation.
Sep 6, 21	Task assignment problem.		
Sep 13, 21	<a href="#">MODELING WITH INTEGER LINEAR PROGRAMMING.</a> Knapsack problem. Set covering problem. Packing problem. Partition problem.		
Sep 13, 21	Travelling salesman problem (TSP). Fixed cost problem.	<a href="#">TSP Art</a>	<a href="#">Optimization cases</a>
Sep 15, 21		<a href="#">Three products. Charter flights.</a>	
Sep 15, 21	Disjunctive constraints. Satisfy k of N equations. Selection among N values.		
Sep 20, 21	Logical propositions. Absolute value. Maximum, minimum.		
Sep 20, 21		<a href="#">Selecting a basketball team.</a>	
Sep 22, 21		<a href="#">Bakery. Job shop.</a>	
Sep 22, 21		<a href="#">Paper roll cut.</a>	
Sep 27, 21		<a href="#">Car renting. Two pipelines</a>	
Sep 27, 21	<a href="#">MULTICRITERIA DECISION MAKING.</a> Multicriteria decision analysis. Pareto	<a href="#">Factory of electronic parts. Staff selection.</a> Swimming pools. Sequencing tasks. Exams.	Preliminary mathematical formulation of the optimization case study

efficiency. Weighted-Sum Method. Compromise Programming. Goal Programming.

Data base.

[Assignment of optimization case studies with GAMS.](#)

Sep 29, 21

GAMS Development; [Optimization: Energy Systems Modeling \(SADSE\)](#); OR/MS-today Advertisement, August 2009

[Algebraic modeling languages.](#)

Transportation problem: mathematical formulation and coding in [GAMS](#).

Sep 29, 21

Execution and analysis of the results.

[GOOD OPTIMIZATION MODELING PRACTICES with GAMS](#) (All You Wanted to Know About Practical Optimization but Were Afraid to Ask) May 2020

[GOOD OPTIMIZATION MODELING PRACTICES with Pyomo](#) (All You Wanted to Know About Practical Optimization but Were Afraid to Ask) May 2020

Practical session with GAMS. [NEOS Server for Optimization](#)

[LECTURE NOTES about Linear Optimization.](#)



Oct 4, 21

[Mathematical Programming Glossary](#)

[Linear and Discrete Optimization course from EPFL at coursera.org](#)

[LINEAR PROGRAMMING](#). Hypothesis. Geometry. Properties.

Oct 4, 21

Simplex algorithm. Graphical solution. Standard form.

R. Elwes [The algorithm that runs the world](#) New Scientist (2877) Aug 2012

[Un español resuelve un problema matemático de hace medio siglo](#) El Mundo 27/05/2010.

[Premio Fulkerson 2015](#) de la Mathematical Optimization Society (MOS) y la American Mathematical Society (AMS)

[iMetro: Subway best route calculator](#)

Oct 6, 21

Algebraic solution. Multiple optima. Degeneracy. Characterizing the solutions. Obtaining an initial basic feasible solution: two-phase method.



[George B. Dantzig](#), the father of linear programming

R.W. Cottle [George B. Dantzig: A Legendary Life in Mathematical Programming](#) Mathematical Programming (105) 1: 1-8 Jan 2006

R.W. Cottle [George B. Dantzig: Operations Research Icon](#) Operations Research (53) 6: 892-898 Nov-Dec 2005

J.C. Nash [The \(Dantzig\) Simplex Method for](#)

[Javascript SimpleX](#)  
[PHPSimpleX](#)

		<p><a href="#">Linear Programming</a>, Computing in Science &amp; Engineering (2) 1: 29-31 Jan-Feb 2000</p> <p>R.E. Bixby <a href="#">Solving Real-World Linear Programs: a Decade and More of Progress</a> Operations Research (50) 1: 3-15 Jan-Feb 2002</p>
Oct 6, 21		<a href="#">LP Problem Set</a>
Oct 13, 21		<a href="#">LP Problem Set</a>
Oct 13, 21		<a href="#">LP Problem Set</a>
Oct 18, 21	DUALITY. Dual problem. Fundamental properties of duality. Economical interpretation. Graphical interpretation of dual variables and of reduced costs. Sensitivity analysis. Changes in constraint bounds.	
Oct 18, 21	MIDTERM EXAM	
Oct 20, 21	<p><a href="#">LECTURE NOTES about Mixed integer linear programming.</a></p>  <p>R.E. Gomory <a href="#">Early Integer Programming</a> Operations Research (50) 1: 78-81 Jan-Feb 2002</p> <p><a href="#">INTEGER LINEAR PROGRAMMING</a>, Example case.</p>	
Oct 20, 21	Example case. Branch and bound method.	<a href="#">MIP Problem set</a>
Oct 25, 21	<p><a href="#">LECTURE NOTES about Nonlinear optimization.</a></p>  <p>H.W. Kuhn <a href="#">Being in the Right Place at the Right Time</a> Operations Research (50) 1: 132-134 Jan-Febr 2002</p> <p><a href="#">Entrevista a Mar Hershenson</a> Anales de Mecánica y Electricidad (LXXXII) II: 3-10 Mar-Abr 2005</p> <p><a href="#">Modeling NLP</a> <a href="#">NONLINEAR PROGRAMMING</a>, Introduction. Problems without constraints: optimality conditions.</p>	
Oct 25, 21	Problems with constraints: optimality conditions. Necessary and sufficient Karush-Kuhn-Tucker conditions.	
Oct 27, 21		<p><a href="#">Problem set NLP</a></p> <p><a href="#">Practical case report.</a> Hand in of optimization practical cases with GAMS.</p>

Comments about the modeling difficulties and GAMS practical case and spent time.

Oct 27, 21

Problem set NLP

Nov 3, 21

[LECTURE NOTES about Decision theory.](#)



[DECISION THEORY.](#)

Decision criteria. Example.

G.M. Fernández and M.C. Escribano [La Teoría de la Decisión: desde sus orígenes hasta comienzos del siglo XIX](#) Boletín de Estadística e Investigación Operativa (30) 3: 292-312, Nov 2014.

[Leonid Hurwicz, Eric S. Maskin y Roger B. Myerson 2007 Nobel Price in Economic Sciences](#) "for having laid the foundations of mechanism design theory"

A. Mas-Colell [Leo Hurwicz, el pionero](#) El País. 21 Octubre 2007

Nov 3, 21

Decision trees. Example.

[Problem set DT](#)

Nov 8, 21

Bayesian analysis. Example.

Problem set DT

Nov 8, 21

[LECTURE NOTES about Game theory.](#)



[GAME THEORY.](#)

H. Singh [Introduction to Game Theory and Its Application in Electric Power Markets](#) IEEE Computer Applications in Power (12) 4: 18-22 Oct 1999

M. Shubik [Game Theory and Operations Research: Some Musings 50 Years Later](#) Operations Research (50) 1: 192-196 Jan-Feb 2002

P. Horner [Game Theory: A 'Nobel' Pursuit](#) OR/MS Today (32) 6 Dec 2005

[Aumann's Work in Game Theory Leads to von Neumann Prize](#) OR/MS Today (32) 6 Dec 2005

[Robert J. Aumann and Thomas C. Schelling 2005 Nobel Price in Economic Sciences](#) "for having enhanced our understanding of conflict and cooperation through game-theory analysis"


[John C. Harsanyi, John F. Nash Jr. and Reinhard Selten 1994 Nobel Price in Economic Sciences](#) "for their pioneering analysis of equilibria in the theory of non-cooperative games"

John F. Nash [Non-Cooperative Games](#) PhD Thesis, Princeton University, May 1950

A. Meca [Génesis y Evolución de la Teoría de Juegos. Sus Orígenes en España](#) Boletín de Estadística e Investigación Operativa Vol 22 No 1 / Enero 2006

D. Ríos [Varoufakis en los juegos \(no\) olímpicos](#) El País 26-jul-2015

[Game Theory course from Stanford University at coursera.org](#)

		<a href="#">Game Theory courses in Open Education DataBase</a>	
Nov 10, 21	Equilibrium on pure and mixed strategies.		<a href="#">Problem set GT</a>
Nov 10, 21	Cournot equilibrium. Bertrand equilibrium.		Problem set DT
Nov 15, 21			Problem set DT
Nov 15, 21	MIDTERM EXAM		
Nov 17, 21	<a href="#">DISCRETE EVENT SIMULATION MODELING</a> Components and Processes. Modeling by Simulation. Simulation languages	<a href="#">2019 Simulation Software Survey</a> . OR/MS Today <a href="#">Winter Simulation Conference 2019</a>	J. Banks and R.R. Gibson <a href="#">The ABCs of Simulation Practice</a> Analytics Magazine 16-21 Spring 2009
Nov 17, 21			<a href="#">Introduction to ARENA</a> <a href="#">Arena</a> <a href="#">Arena Industry Solutions: Rockwell Arena simulation 3D - manufacture</a> <a href="#">Rockwell Arena simulation 3D - Bike manufacturer</a> <a href="#">Arena Simulation of Cobeguid Blood Clinic</a>
Nov 22, 21	<a href="#">SIMULATION OUTPUT ANALYSIS</a> Finite-Horizon Analysis. Infinite-Horizon Analysis.		
Nov 22, 21			<a href="#">Problem set</a> <a href="#">Quiz on Simulation</a> <a href="#">Quiz on Output Analysis</a>
Nov 24, 21			Simulation case study
Nov 24, 21			Simulation case study
Nov 29, 21	<a href="#">QUEUEING THEORY</a> Poisson processes	C. Moler <a href="#">The world's largest matrix computation</a> . Matlab News & Notes Oct 2002	
Nov 29, 21	Birth-Death process		
Dec 1, 21			TEST: simulation case study
Dec 1, 21			<a href="#">Problem set QT</a>
Dec xx, 21	<a href="#">LECTURE NOTES about Program Evaluation and Review Technique (PERT)</a>  <a href="#">PROJECT PLANNING AND CONTROL</a> . Critical path. PERT. Introducing costs.		Problems 4, 5 and 6. Problem set <a href="#">Task sequencing</a> , <a href="#">Training course</a> , <a href="#">Seven activities with acceleration cost</a> , <a href="#">Activities with random duration</a> , <a href="#">Investment with randomness</a> ) <a href="#">OpenProject</a> <a href="#">ProjectLibre</a> <a href="#">GanttProject</a> <a href="#">Microsoft Project</a>
Dec xx, 21	Ending date under risk or uncertainty		
Dec xx, 21			FINAL EXAM



## Operations Research

**SEMESTER:** Fall  
**CREDITS:** 6 ECTS (4 hrs. per week)  
**LANGUAGE:** English  
**DEGREES:** GITI-GITT

### Course overview

This course is an introduction to modeling by optimization and simulation. In this course we focus on how to formulate complex realities in mathematical format and present the methodology to solve arising optimization problems numerically. The focus is on linear optimization problems, but nonlinear programming is also briefly introduced, and simulation techniques are taught in a practical way. Game theory, queueing theory and decision theory are introduced. Finally, project planning is explained in a numerical interpretation. The theoretical contents of this course are also applied in a practical manner due to programming and modeling exercises.

### Prerequisites

Basic knowledge of Linear Algebra, Statistics and Calculus.

### Course contents

1. Optimization and modeling. Linear and Mixed Integer Modeling. Classical modeling problems. Multicriteria Decision.
2. Linear, Mixed Integer and Nonlinear Programming. Simplex Method. Branch and Bound Method. Newton's Method.
3. Decision Theory and Game Theory. Decision Making Criteria. Decision Tree. Rectangular and Bi-personal Games. Nash Equilibrium.
4. Simulation. Discrete Event Simulation Modeling. Simulation Software. Random Number Generation. Output Analysis.
5. Queueing Theory. Poisson process. Classical Queueing Models. Close System Models.
6. Resource Planning and Optimization. PERT. Project Planning. Project Planning Software.

### Main References

- F.S. Hillier, G.J. Lieberman Introduction to Operations Research, 11e. McGraw-Hill Higher Education. 2020

- A. Ramos, P. Sánchez, J.M. Ferrer, S. Wogrin. Modelos Matemáticos de Optimización. 2013. ([https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/simio/apuntes/a\\_mmo1a.pdf](https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/simio/apuntes/a_mmo1a.pdf)) ([https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/simio/apuntes/a\\_mmo1b.pdf](https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/simio/apuntes/a_mmo1b.pdf))
- A. Ramos, P. Sánchez, J.M. Ferrer, S. Wogrin. Modelos Matemáticos de Técnicas Específicas de Optimización. 2013. ([https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/simio/apuntes/a\\_mmo2.pdf](https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/simio/apuntes/a_mmo2.pdf))
- A. Ramos, P. Sánchez, J.M. Ferrer, J. Barquín, A. Campos, B. Vitoriano. Modelos Matemáticos de Simulación. 2009. ([https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/simio/apuntes/a\\_mms.pdf](https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/simio/apuntes/a_mms.pdf))
- A. Sarabia, La investigación operativa. Una herramienta para la adopción de decisiones. Universidad Pontificia Comillas. 1996
- Slides of theory ([https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/intro\\_simio.htm](https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/intro_simio.htm))
- Practical problems (<https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/IO.htm>)
- Past exam problems (<https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/IO.htm>)
- Coding examples (<https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/IO.htm>)

## Grading

The following conditions must be accomplished to pass the course:

- A minimum overall grade of at least 5 over 10.

The overall grade is obtained as follows:

- Continuous evaluation (5%):
  - Attendance
  - Periodical assignments
  - Active participation in class
- Practical exercises/Case study (25%):
  - Optimization case study in a team, using language GAMS, with written report (15%)
  - Simulation case study in a team, using language Arena, with written report (10%)
- Exams (70%): Minimum grade of exam: 4.0
  - Intermediate evaluation tests (October + November)
  - Final exam (December)
  - Ordinary exam: 5% cont. eval.; 25% Practical exercise; 70% exams (50% final, 20% intermediate tests)



- Extraordinary exam: 5% cont. eval.; 25% Practical exercise; 70% exams (70% final exam)