

GENERAL INFORMATION

Datos de la asignatura	
Name	Simulation Methods
Code	MRE-523
Degree	Master in Research in Engineering Systems Modeling (MRE)
Semester	2º (Fall)
ECTS Credits	3
Type	Compulsory
Department	Industrial Organization
Area	Statistics and Operation Research

Instructor	
Name	Pedro Sánchez Martín
Department	Industrial Organization
Area	Estadística e Investigación Operativa
Office	D-409
e-mail	psanchez@comillas.edu
Office hours	Arrange an appointment by email

DETAILED INFORMATION

Contextualization of the course	
Contribution to the professional profile of the degree	
<p>This subject provides concepts and principles of system modelling based on simulation techniques. The student will learn the use of professional simulation software to model system performance.</p> <p>At the end of this course the student will be able to emulate the dynamic performance of industrial systems. Then, the student will have enough capacity to analyze the decision impact on system performance using the tools learned in this course. The student will understand the use of output analysis techniques in simulation, and the need of using experimental design to enhance the accuracy and quality of decision making based on simulation outputs.</p> <p>In addition, this subject has a theoretical and practical combined structure, then the small exercises will be partially developed in class and also the final works will be solved using pc laboratory classrooms with the instructor support.</p>	
Prerrequisitos	
<p>Students willing to take this course should be familiar with basic knowledge of probability and statistics</p>	

CONTENTS

Contents
Theory
Chapter 1: SYSTEM MODELING BY SIMULATION.
<ul style="list-style-type: none"> 1.1 Basic concepts of system modeling by simulation. 1.2 Discrete Event Simulation 1.3 Components of a simulation model 1.4 Computing a basic simulation of a single queueing system 1.5 Methodology of System Simulation Study
Chapter 2: SIMULATION SOFTWARE.
<ul style="list-style-type: none"> 2.1 Simulation software and programming languages 2.2 Simulation Software Classification 2.3 Desirable features of Simulation Software 2.4 Simulation modeling using a general purpose simulation professional package
Chapter 3: MODELING RANDOMNESS IN SIMULATION.
<ul style="list-style-type: none"> 3.1 Review of basic knowledge of Probability and Statistics 3.2 Pattern Identification and goodness of fit Tests 3.3 Generating Random Numbers and Variates
Chapter 4: SIMULATION OUTPUT DATA ANALYSIS.
<ul style="list-style-type: none"> 4.1 Statistical Analysis of outputs with finite and infinite horizons 4.2 Comparison of Systems using simulation. Validation and credibility of simulation models. 4.3 Experimental Design in Simulation 4.4 Variance Reduction Techniques
Competences – Learning Outcomes
Competences
General Competences
<p>CB1. To learn advanced scientific knowledge and to demonstrate, in a context of scientific and technological research highly specialized, a detailed understanding of theoretical and application aspects and the methodology of work in one or more study fields.</p> <p>CB2. To know how to apply and integrate knowledge, the understanding of it, its scientific basis, and problem-solving capabilities in new and loosely defined environments, including multidisciplinary contexts, both for research and highly-specialized professions.</p> <p>CB4. To be able to predict and control the new evolution of complex scenarios based on the development of new methodologies of work adapted to the particular scientific/research, technological or professional contexts, in general multi-disciplinary, where the work is developed</p>

CB5. To be able to communicate research results and their fundamental features clearly and without ambiguities, to both a specialized public and the general public.

Basic Competences

CE4. To model the performance of real systems based on simulation techniques, and to analyze the results using statistical techniques.

Learning outcomes

At the end of the course the student must have the following competences:

RA1. Should understand the area of the use of simulation to enhance the performance of real or designed systems.

RA2. Should know the components of simulations models and their logic and mathematical relationship, and their functional parallelism with the structure and components of programming languages and simulation software.

RA3. Should know the advantages and pitfalls of the use of simulation packages and programming languages

RA4. Should know how to code and use a general purpose simulation package to model the performance of real systems

RA5. Should be able to use concepts of probability and statistics to include randomness in the simulation models fitting statistical distributions to input data

RA6. Should know the generation techniques of random numbers and variates

RA7. Should be able to analyze the accuracy of the simulation outputs using statistical analysis and experimental design

RA8. Should know different advanced statistical techniques to improve the accuracy of the output analysis without increasing the computational burden of the simulation execution

RA9. Should be able to design a final work proposal to develop a simulation study on a real system whose characteristics will show the learning on this subject.

TEACHING METHODOLOGY

General methodological aspects	
<p>The objective is improving the learning and incentivizing the autonomous and critical thinking of the students.</p> <p>For that purpose the following teaching resources are used. The teaching resources mentioned require the active participation of the student. It is indispensable that the class activity would be complemented with the personal work of the student and, coherently, it will be taken into account to assess the student performance.</p>	
In-class activities	Competences
<p>1. Master Lectures. Presentation of main concepts and methods by the instructor. This includes dynamic presentations, examples and student participations (10 hours).</p> <p>2. Resolution of exercises. This resolution will be done by students with the instructor support (16 hours).</p> <p>3. Final work presentations. Each student presents the final work of the subject to show his/her subject learning and also attend the presentations of the rest of students to learn of their Works. (4 hours).</p>	<p>CB1</p> <p>CB2</p> <p>CB5</p>
Out-of-class activities	Competences
<p>The main objective of this out-of-class activity is to understand and learn the concepts of this subject, and how to practice them to solve different types of problems.</p> <p>1. Self-study. The student should do an individual work to understand and learn the concepts of this subject (10 hours).</p> <p>2. Resolution of Exercises. The student should practice the learned concepts solving exercises whose resolution will be explained in class and reviewed by the instructor. (13 horas).</p> <p>3. Final Work. The individual final work will be based on the implementation of simulation techniques to a more realistic case. The student will show the learning on this subject writing a report and presenting the simulation model and the performed output analysis. (37 horas)</p>	<p>CB1</p> <p>CB2</p> <p>CB4</p>

ASSESSMENT AND GRADING CRITERIA

Assessment activities	Grading criteria	WEIGHT
<u>Resolution of exercises</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Concepts Learning. - Applied Learning. - Output Analysis and Interpretation. - Writing skills. 	50%
<u>Final Work</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Concepts Learning. - Applied Learning. - Output Analysis and Interpretation. - Presentation and writing skills. 	50%

Grading
Regular assessment
<p>To pass the course, students should obtain a final grade of 5 points or more. The weight of each of the assessment activities is the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 50% Grading of exercises resolution. • 50% Final work grade: 70% report and 30% class presentation.
Retakes
<p>To pass the course, students should obtain a final grade of 5 points or more. The weight of each of the assessment activities is the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 50% Final work grade. • 50% Exam grade. To pass the course, students should obtain an exam grade of 4 points or more.
General course rules
<p>Class attendance is mandatory according to Article 93 of the General Regulations (Reglamento General) of Comillas Pontifical University and Article 6 of the Academic Rules (Normas Académicas) of the ICAI School of Engineering. Not complying with this requirement may have the following consequences:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Students who miss more than 15% of the lectures for unjustified reasons may be denied the right to be evaluated during the regular assessment period.

WORK PLAN AND SCHEDULE

In and out-of-class activities	Date	Deadline
<ul style="list-style-type: none"> Regular Exercises Resolution 	Weeks 1 to 8	
<ul style="list-style-type: none"> Final work assignment 	Weeks 7 to 14	Weeks 14 - 15

STUDENT WORK-TIME SUMMARY			
IN-CLASS HOURS			
Lectures	Problem-solving	Lab sessions	Assessment
10	2	14	4
OUT-OF-CLASS HOURS			
Self-study	Final Work Assignment	Collaborative working	Resolution of Exercises
10	37		13
CRÉDITOS ECTS:			3 (90 horas)

BIBLIOGRAPHY

Basic bibliography
Textbook
<ul style="list-style-type: none"> Rossetti, Manuel D. (2010), Simulation Modeling and Arena. 1st edition John Wiley & Sons
Complementary bibliography
<ul style="list-style-type: none"> Tayfur,.A., Melamed, B. (2007) "Simulation Modeling and Analysis with Arena-Academic Press Law, A.M., Kelton, W.D. (2000) Simulation Modeling and Analysis. 3rd edition McGraw-Hill. Rios-Insua, D. Ríos-Insua, S., Martin, J. (1997) Simulacion. Métodos y aplicaciones. Editorial Ra-Ma.

FICHA TÉCNICA DE LA ASIGNATURA

Datos de la asignatura	
Nombre	Métodos de Simulación
Código	MRE-523
Titulación	Master in Research in Engineering Systems Modeling (MRE)
Cuatrimestre	2º
Créditos ECTS	3
Carácter	Obligatorio/ formación Básica
Departamento	Ingeniería en Organización Industrial
Área	Estadística e Investigación Operativa

Datos del profesorado	
Profesor	
Nombre	Pedro Sánchez Martín
Departamento	Ingeniería en Organización Industrial
Área	Estadística e Investigación Operativa
Despacho	D-409
e-mail	psanchez@comillas.edu
Horario de Tutorías	Previa petición por correo electrónico

DATOS ESPECÍFICOS DE LA ASIGNATURA

Contextualización de la asignatura
Aportación al perfil profesional de la titulación
<p>En el perfil profesional del estudiante del Master in Research in Engineering Systems Modeling, esta asignatura pretende proporcionar un conocimiento de los conceptos y principios del modelado mediante técnicas de simulación. Así mismo, el estudiante adquiere el manejo y práctica de software profesional de modelado de sistemas.</p> <p>Al finalizar el curso los alumnos serán capaces de emular el funcionamiento de sistemas industriales con el fin de analizar el impacto de las decisiones sobre su comportamiento. Comprenderán la utilidad de técnicas de análisis de resultados de simulación, así como la necesidad del uso de técnicas de diseño de experimentos con el fin de mejorar la calidad y precisión de las decisiones a partir de los resultados obtenidos.</p> <p>Además esta asignatura tiene un carácter mixto teórico-experimental por lo que a los componentes teóricos se les añaden los de carácter práctico, tanto la resolución de casos de estudio de tamaño más reducido mediante software de simulación así como la realización de trabajos prácticos individuales que sean propuestos por los propios estudiantes.</p>
Prerrequisitos
Se requieren conocimientos básicos de probabilidad y estadística

BLOQUES TEMÁTICOS Y CONTENIDOS

Contenidos – Bloques Temáticos
Teoría
Tema 1: MODELADO DE SISTEMAS MEDIANTE SIMULACIÓN.
<p>1.1 Nociones básicas de modelado de sistemas mediante simulación.</p> <p>1.2 Simulación de eventos discretos.</p> <p>1.3 Elementos de un modelo de simulación.</p> <p>1.4 Simulación analítica de un sistema de cola única y mediante software de simulación.</p> <p>1.5 Metodología de un estudio de simulación de un sistema.</p>
Tema 2: SOFTWARE DE SIMULACIÓN.
<p>2.1 Software de simulación y lenguajes de programación.</p> <p>2.2 Clasificación de software de simulación.</p> <p>2.3 Características deseables de un software de simulación.</p> <p>2.4 Modelado de simulación con un software profesional de propósito general</p>
Tema 3: MODELADO DE ALEATORIEDAD.
<p>3.1 Revisión de conceptos de probabilidad y estadística.</p> <p>3.2 Identificación de patrones de distribuciones de probabilidad</p> <p>3.3 Generación de números y variables aleatorias.</p>
Tema 4: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE SALIDA DE LA SIMULACIÓN.
<p>4.1 Análisis estadístico de salidas de horizonte finito e infinito</p> <p>4.2 Comparación de sistemas con simulación. Validación y credibilidad de los modelos.</p> <p>4.3 Diseño de experimentos en simulación.</p> <p>4.4 Técnicas de reducción de varianza</p>
Competencias – Resultados de Aprendizaje
Competencias
Competencias Generales
<p>CB1 - Haber adquirido conocimientos avanzados y demostrado, en un contexto de investigación científica y tecnológica o altamente especializado, una comprensión detallada y fundamentada de los aspectos teóricos y prácticos y de la metodología de trabajo en uno o más campos de estudio.</p> <p>CB2 - Saber aplicar e integrar sus conocimientos, la comprensión de estos, su fundamentación científica y sus capacidades de resolución de problemas en entornos nuevos y definidos de forma imprecisa, incluyendo contextos de carácter multidisciplinar tanto investigadores como profesionales altamente especializados.</p> <p>CB4 - Ser capaces de predecir y controlar la evolución de situaciones complejas mediante el desarrollo de nuevas e innovadoras metodologías de trabajo adaptadas al ámbito científico/investigador, tecnológico o profesional concreto, en general multidisciplinar, en el que se desarrolle su actividad.</p>

CB5 - Saber transmitir de un modo claro y sin ambigüedades a un público especializado o no, resultados procedentes de la investigación científica y tecnológica o del ámbito de la innovación más avanzada, así como los fundamentos más relevantes sobre los que se sustentan.

Competencias de Formación Básica

CE4 - Modelar el comportamiento de sistemas reales mediante técnicas de simulación, así como analizar los resultados mediante técnicas estadísticas.

Resultados de Aprendizaje

Al final de curso los alumnos deben ser capaces de:

RA1. Comprender el campo de aplicación de las técnicas de simulación para la mejora del comportamiento de sistemas reales o en fase de diseño.

RA2. Conocer los elementos que constituyen los modelos de simulación y su interrelación lógica y matemática, así como su paralelismo funcional con la estructura y componentes de los lenguajes de programación y software de simulación

RA3. Analizar las ventajas e inconvenientes del uso de lenguajes de programación y software de simulación

RA4. Conocer el manejo y desarrollo en un software de simulación que permita la codificación de alto nivel para el modelado del comportamiento de sistemas reales

RA5. Ser capaz de aplicar conceptos de probabilidad y estadística para introducir aleatoriedad en los modelos de simulación ajustando patrones adecuados de distribución de probabilidad.

RA6. Conocer las técnicas genéricas y particulares de generación de variables aleatorias a partir de distribuciones analíticas

RA7. Ser capaz de analizar la precisión de los resultados de simulación mediante el uso de técnicas estadísticas de estimación de parámetros combinadas con la aplicación de técnicas de diseño de experimentos

RA8. Conocer diferentes técnicas estadísticas avanzadas que permiten mejorar la precisión de los resultados obtenidos sin aumentar el tiempo de cálculo de las ejecuciones de simulación

RA9. Ser capaz de plantear un trabajo final de simulación que englobe los contenidos del aprendizaje del curso y que incorpore un problema asociado a un sistema real de escala reducida.

METODOLOGÍA DOCENTE

Aspectos metodológicos generales de la asignatura	
Metodología Presencial: Actividades	Competencias
<p>1. Clase magistral y presentaciones generales. Exposición de los principales conceptos y procedimientos mediante la explicación por parte del profesor. Incluirá presentaciones dinámicas, pequeños ejemplos prácticos y la participación reglada o espontánea de los estudiantes (10 horas).</p>	CB1
<p>2. Resolución en clase de casos prácticos sencillos. Resolución de unos casos sencillos para que el alumno se ejercite. La resolución correrá a cargo de los alumnos interactuando con el profesor (16 horas).</p>	CB2
<p>3. Presentaciones de trabajos finales. Cada estudiante expone ante la clase su trabajo final de la asignatura de forma que muestre el aprendizaje adquirido de forma aplicada (4 horas).</p>	CB5
Metodología No presencial: Actividades	Competencias
<p>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</p>	
<p>1. Estudio de los conceptos teóricos. El alumno debe realizar un trabajo personal posterior a las clases teóricas para comprender e interiorizar los conocimientos aportados en la materia (13 horas).</p>	CB1
<p>2. Resolución de problemas prácticos fuera del horario de clase por parte del alumno. El alumno una vez estudiados los conceptos teóricos debe ponerlos en práctica para resolver los problemas. Pasado un cierto tiempo desde su planteamiento dispondrá de la resolución completa de los problemas, pudiendo pedir tutorías con el profesor si lo requiere para aclaración de dudas (10 horas).</p>	CB2

<p>3. Trabajo final de asignatura. La realización de un trabajo individual del alumnos basado en la aplicación de las técnicas de simulación aprendidas a lo largo del curso a un sistema con la redacción de un informe final y la preparación de una presentación breve del trabajo realizado ante la clase. (37 horas)</p>	<p>CB4</p>
--	-------------------

	IN-CLASS ACTIVITIES			OUT-OF-CLASS ACTIVITIES			LEARNING OUTCOMES		
Week	h/w	LECTURE & PROBLEM SOLVING	LAB	ASSESSMENT	h/w	SELF-STUDY	LAB PREPARATION AND REPORTING	OTHER ACTIVITIES	Learning Outcomes
1	2	Course presentation and introduction (1h), System Modeling using Simulation (1h)		Exercise on <u>Components Identification</u> on a Simulation Model	1	Review and self-study (1h)			RA1, RA2
2	2	Simulation Software (1h)	Introductory modeling using general purpose software-Arena (1h)	Exercise on <u>basic</u> modeling of a system using simulation	3	Review, self-study and exercise-solving (3h)			RA3
3	2		Introductory simulation using general purpose software - Arena (2h)	Exercise on basic simulation <u>output analysis</u> of a system	3	Review, self-study and exercise-solving (3h)			RA3, RA4
4	2		Additional simulation modeling features for general purpose software (2h)	Exercise on <u>more detailed</u> simulation of a system	5	Review, self-study and exercise-solving (5h)			RA3, RA4
5	2	Random Modeling (1h)	Fitting input data into statistical distributions using Software (1h)	Exercise of Statistical Distribution Data Analysis using Input Analyzer Software	2	Review, self-study and exercise-solving (2h)			RA5
6	2	Random Modeling (1h)	Generating data based on different statistical distributions (1h)	Exercise of Statistical Distribution Data Generation using Input Analyzer Software	2	Review, self-study and problem-solving (2h)			RA6
7	2	Simulation Output Analysis: Finite Horizon Analysis (1h)	Examples of Finite horizon Analysis of Systems (1h)	Definition of the Statement of the final work	5		Design and report the final work <u>proposal</u> (5h)		RA7, RA9
8	2	Simulation Output Analysis: Infinite Horizon Analysis (1h)	Examples of Infinite horizon Analysis of Systems (1h)	Exercise of Output Analysis using finite and infinite horizons	6	Review, self-study and problem-solving (2h)	Develop a basic simulation model of the final work (4h)		RA7, RA9
9	2	Simulation Output Analysis: Comparison of two Systems (1h)	Comparison of two Systems (1h)		6	Review and self-study (2h)	Develop a basic simulation model of the final work (4h)		RA8, RA9
10	2	Simulation Output Analysis: Experimental Design (2h)			8	Review, self-study and problem-solving (3h)	Develop a more advanced model of the final work (5h)		RA8, RA9
11	2	Simulation Output Analysis: Experimental Design (1h)	Practice of experimental design by Simulation (1h)		5		Develop a more advanced model of the final work (5h)		RA8, RA9
12	2	Variance Reduction Techniques (1h)	Final work development (1h)		5		Develop a more advanced model of the final work (5h)		RA8, RA9
13	2		Final work development (2h)		5		Develop a more advanced model of the final work (5h)		RA9
14	2		Final work presentations (2h)		4		Create a class <u>presentation</u> of the final work (4h)		RA9
15	2		Final work presentations (2h)						RA9

EVALUACIÓN Y CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

Actividades de evaluación	Criterios de evaluación	PESO
<p><u>Realización de casos sencillos</u> Casos sencillos de aplicación que permiten afianzar los conocimientos y ejemplos impartidos en el aula</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Comprensión de conceptos. - Aplicación de conceptos a la resolución de problemas prácticos de tamaño reducido. - Análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la resolución de problemas. - Presentación y comunicación escrita. 	50%
<p><u>Realización de trabajo final.</u> Trabajo final que cada alumno realiza y en el cual el alumno aplica progresivamente los conocimientos aprendidos a lo largo del curso</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Comprensión de conceptos. - Aplicación de conceptos a la resolución de un problema práctico de tamaño más real. - Análisis e interpretación de los resultados - Presentación oral del contenido del trabajo final. 	50%

Criterios de Calificación

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

- Un 50% la calificación de la resolución de los casos sencillos. El otro 50% corresponde a la calificación del trabajo final en la cual se valora un 70% el documento y el código de simulación y un 30% la presentación realizada en clase.

Convocatoria Extraordinaria

- Un 50% la nota que obtuvo el alumno en su evaluación del trabajo final.
- Un 50% la nota del examen de la convocatoria extraordinaria. La nota mínima será de 4 en el examen de la convocatoria extraordinaria.

La inasistencia a más del 15% de las horas presenciales de esta asignatura puede tener como consecuencia la imposibilidad de presentarse a la convocatoria ordinaria de esta asignatura. La asistencia a las prácticas de laboratorio es obligatoria.

RESUMEN PLAN DE LOS TRABAJOS Y CRONOGRAMA

Actividades Presenciales y No presenciales	Fecha de realización	Fecha de entrega
<ul style="list-style-type: none"> • Pruebas de evaluación del aprendizaje mediante ejercicios 	Semanas de la 1 a la 8	
<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración del trabajo final de la asignatura 	Semanas de la 7 a la 14	Semanas 14 y 15

RESUMEN HORAS DE TRABAJO DEL ALUMNO			
HORAS PRESENCIALES			
Lección magistral	Resolución de problemas	Prácticas laboratorio	Evaluación
10	2	14	4
HORAS NO PRESENCIALES			
Trabajo autónomo sobre contenidos teóricos	Trabajo autónomo sobre contenidos prácticos	Realización de trabajos colaborativos	Estudio
10	37		13
CRÉDITOS ECTS:			3 (90 horas)