

**Proyecto/Guía docente de la asignatura**

Se debe indicar de forma fiel cómo va a ser desarrollada la docencia. Esta guía debe ser elaborada teniendo en cuenta a todos los profesores de la asignatura. Conocidos los espacios y profesorado disponible, se debe buscar la máxima presencialidad posible del estudiante siempre respetando las capacidades de los espacios asignados por el centro y justificando cualquier adaptación que se realice respecto a la memoria de verificación. Si la docencia de alguna asignatura fuese en parte online, deben respetarse los horarios tanto de clase como de tutorías). La planificación académica podrá sufrir modificaciones de acuerdo con la actualización de las condiciones sanitarias.

|  |  |                      |       |
|--|--|----------------------|-------|
| <b>Asignatura</b>                                | Modelado y Simulación de Sistemas  |                      |       |
| <b>Materia</b>                                   | Ingeniería de Sistemas   |                      |       |
| <b>Módulo</b>                                    | Tecnología específica  |                      |       |
| <b>Titulación</b>                                | Grado de Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática   |                      |       |
| <b>Plan</b>                                      | 452  | <b>Código</b>        | 42385 |
| <b>Periodo de impartición</b>                    | Segundo cuatrimestre   | <b>Tipo/Carácter</b> | OB    |
| <b>Nivel/Ciclo</b>                               | Grado  | <b>Curso</b>         | 3º    |
| <b>Créditos ECTS</b>                             | 6  |                      |       |
| <b>Lengua en que se imparte</b>                  | Castellano   |                      |       |
| <b>Profesor/es responsable/s</b>                 | Luis Felipe Acebes Arconada  |                      |       |
| <b>Datos de contacto (E-mail, teléfono...)</b>   | 98342-3165; <a href="mailto:felipe.acebes@uva.es">felipe.acebes@uva.es</a><br>Edificio Doctor Mergelina. Planta: 1. Despacho: 1134<br>Tutorías: Consultar la web de la UVa o acordar por e-mail con profesor |                      |       |
| <b>Departamento</b>                              | Ingeniería de Sistemas y Automática (ISA)  |                      |       |
| <b>Fecha de revisión por el comité de título</b> | 20/06/2024   |                      |       |

## 1. Situación / Sentido de la Asignatura

### 1.1 Contextualización

Existen muchas definiciones de simulación digital, una de las más completas es la de P. Fishwick que dice que “*la simulación digital es la disciplina del diseño de un modelo de un sistema real o ficticio, la ejecución de dicho modelo mediante un ordenador digital y el análisis de la salida producida durante dicha ejecución*”.

Esta definición es tan amplia como el campo de aplicación de las técnicas de simulación, que tradicionalmente se han usado en campos tan diversos como la ingeniería, medicina, biología, ecología, ciencias sociales y económicas... Dicha amplitud se debe tanto a la variedad de sistemas que pueden considerarse, como a los objetivos que se persigan con el uso de la simulación. A grandes rasgos, la simulación digital permite experimentar sin la necesidad de disponer del sistema físico real, ahorrando tiempo y evitando situaciones peligrosas. La simulación puede usarse indistintamente para responder a preguntas directas (¿qué pasa si...?) y a preguntas inversas (¿qué debo hacer para ...?).

El tipo de problemas en los que la simulación es una herramienta fundamental son aquellos en los que hace falta una réplica del sistema real y en los problemas de diseño, optimización, gestión y toma de decisiones donde las técnicas analíticas no son aplicables o donde sólo abordan el problema de un modo parcial e incompleto.

Desde el punto de vista de la simulación existen fundamentalmente tres tipos de sistemas. *Sistemas continuos*, en los que los valores del estado del sistema evolucionan de modo continuo a lo largo del tiempo, tomando un continuo de valores; *sistemas discretos*, en los que las propiedades de interés del sistema cambian únicamente en un cierto instante o secuencia de instantes que obedece a un patrón periódico y *sistemas de eventos discretos* en los que las propiedades de interés del sistema cambian únicamente en un cierto instante o secuencia de instantes que obedece a un patrón aleatorio, y permanecen constantes el resto del tiempo. En la asignatura nos vamos a referir al primer tipo de sistemas.

La simulación de un sistema requiere la descripción de las características internas (mecanismos) del sistema en cuestión para prever su respuesta. Esa descripción se denomina modelo del sistema, y el proceso de abstracción para obtener esa descripción se denomina modelado. En el caso particular de la simulación digital se requiere que los modelos formalicen el conocimiento de un modo conciso, sin ambigüedades (interpretación única) y que puedan ser procesados por un ordenador. Estas características nos conducen al uso de modelos matemáticos como herramienta para representar las dinámicas de cualquier sistema en un entorno de simulación digital. En el caso de los sistemas continuos los modelos matemáticos más significativos son los basados en ecuaciones diferenciales y algebraicas en forma de ODEs (Ordinary Differential Equations) o DAEs (Differential Algebraic Equations), junto con la especificación de eventos.

Si se dispone de un ordenador digital se puede resolver un modelo matemático continuo (sistema de ecuaciones algebraicas y diferenciales) o discreto (ecuaciones en diferencias) de diversas formas. Puede utilizarse un lenguaje de programación genérico de alto nivel, aunque este procedimiento requiere gran cantidad de trabajo y conocimientos especiales de programación e integración de ecuaciones, estando expuesto al peligro de cometer muchos errores. Así, y desde 1955, se han desarrollado programas especiales, denominados lenguajes de simulación digital, que liberan al usuario de numerosos detalles de programación, facilitan la simulación y dan fiabilidad a los resultados. El usuario solo tiene que escribir su modelo, de acuerdo con las especificaciones del lenguaje, y decir que tipo de operaciones desea realizar. Finalmente, el programa de simulación le proporcionará los resultados, gráfica o alfanuméricamente.

Algunos de estos lenguajes están orientados hacia áreas especiales como la resolución de ecuaciones en derivadas parciales (PDE) o ecuaciones en diferencias. Los más generales son los que consideran los modelos descritos mediante ODEs y DAEs, existiendo lenguajes de simulación orientados a sentencias y a bloques.

Además de estos lenguajes de simulación, existen entornos de modelado que permiten la descripción del modelo matemático del sistema a simular de un modo gráfico, seleccionando componentes y conectándolos. Entre ellos podemos destacar los que están basados en los lenguajes de simulación orientados a bloques, en los lenguajes de simulación orientados a sentencias, en la metodología bond-graph, en los lenguajes de modelado orientados a objetos y en los lenguajes de modelado basados en conocimiento físico.

También, existen herramientas de simulación particulares para diversos dominios de la Ciencia, que facilitan el uso de la simulación a personal que no es un experto en simulación, pero si en el sistema que quiere simular. Entre ellos podemos mencionar, y sin ánimo de ser exhaustivos, AspenTech y Hyprotech para la ingeniería química, MMS para la simulación de centrales nucleares, APMS en la industria del papel, Spice y SABER en el ámbito eléctrico y electrónico y ADAMS en el campo de la automoción.



Si retomamos la definición de simulación digital podemos decir que en todo proyecto de simulación deben considerarse tres grandes hitos: el análisis del sistema a modelar y el desarrollo de su modelo; la implementación y ejecución en un ordenador del modelo desarrollado y la explotación de la ejecución de la simulación.

El primer hito de un proyecto de simulación requiere formular el problema a estudiar y especificar los objetivos de la simulación, diseñar un modelo conceptualmente alto, adquirir datos del sistema a modelar y formalizar el modelo conceptual. En este proceso es recomendable aplicar el principio de *parsimonia* que establece que, siendo iguales otras cosas, los modelos simples son preferibles a los complicados.

Una vez que se dispone del modelo, el segundo hito es la generación del modelo de simulación, es decir la implementación del modelo en un ordenador digital. Una vez desarrollado el modelo de simulación y previamente a su explotación se procede a su verificación y validación, siendo recomendable suponer que todo modelo es incorrecto hasta que se demuestre lo contrario. Si la validación no es satisfactoria puede ser necesario revisar las etapas anteriores, en concreto el modelo desarrollado y como ha sido implementado.

El tercer hito, el análisis de la ejecución del modelo, necesita una buena definición de escenarios y diseño de experimentos.

De un modo paralelo a los hitos mencionados, y como producto final adicional, debe desarrollarse la documentación del proyecto de simulación siendo recomendable que recoja los objetivos del proyecto, hipótesis de modelado, descripción física del sistema a modelar, justificación de la metodología de modelado empleada, descripción del modelo formal y de simulación, análisis de los experimentos efectuados y conclusiones. Esta documentación facilitará la comunicación, el mantenimiento, actualización y reutilización del software desarrollado.

## 1.2 Relación con otras materias

---

La asignatura desarrolla algunos aspectos introducidos en la asignatura Fundamentos de Automática y pretende que el alumno tenga a su disposición una herramienta, la simulación digital, que le puede ser de mucha ayuda para otras asignaturas impartidas en el Grado y para su futura práctica profesional.

## 1.3 Prerrequisitos

---

Es recomendable tener aprobadas las asignaturas Sistemas de Procesos de Fabricación, Fundamentos de Automática, Estadística, Física I y II y Matemáticas III.

## 2. Competencias

### 2.1 Generales

- CG1. Capacidad de análisis y síntesis.
- CG2. Capacidad de organización y planificación del tiempo.
- CG4. Capacidad de expresión escrita.
- CG5. Capacidad para aprender y trabajar de forma autónoma.
- CG6. Capacidad de resolución de problemas.
- CG7. Capacidad de razonamiento crítico/análisis lógico.
- CG9. Capacidad para trabajar en equipo de forma eficaz.
- CG10. Capacidad para diseñar y desarrollar proyectos.
- CG11. Capacidad para la creatividad y la innovación.
- CG12. Capacidad para la motivación por el logro y la mejora continua.

### 2.2 Específicas

- CE25. Conocimiento y capacidad para el modelado y simulación de sistemas.

## 3. Objetivos

- OBJ1: Conocer los conceptos básicos de la simulación de sistemas dinámicos, las ventajas de la simulación y la necesidad de herramientas informáticas que hagan posible dicha simulación.
- OBJ2: Conocer que es un modelo matemático dinámico de sistemas de eventos discretos y manejar modelos en forma de Grafos de eventos, Diagramas de Ciclo de Actividad y Redes de Petri.
- OBJ3: Conocer que es un modelo matemático de un sistema dinámico continuo y discreto. Manejar modelos matemáticos en forma de ODEs y ecuaciones en diferencias, funciones de transferencia y descripción en el espacio de estados, tanto en el caso continuo como el discreto.
- OBJ4: Conocer las técnicas numéricas que subyacen a la simulación de sistemas dinámicos.
- OBJ5: Manejar las ecuaciones dinámicas de balance de masa y energía. Manejar las ecuaciones dinámicas de movimiento (traslacional y rotacional). Manejar las ecuaciones dinámicas de las redes eléctricas. Manejar las ecuaciones dinámicas de los sistemas electromecánicos.
- OBJ6: Conocer los aspectos básicos de una herramienta de simulación, tanto de sistemas continuos como de los orientados a eventos discretos, y saber implementar en ella modelos sencillos.
- OBJ7: Saber desarrollar, parametrizar y validar modelos matemáticos de sistemas.
- OBJ8: Aplicar técnicas de simulación al diseño e implantación de sistemas de control.
- OBJ9: Conocer aplicaciones informáticas del ámbito de la simulación de sistemas.

**4. Contenidos y/o bloques temáticos**

| TÍTULO DEL TEMA/BLOQUE TEMÁTICO  | ECTS | Periodo de desarrollo (semanas) | Objetivos    |
|--|------|---------------------------------|--------------|
| <b>Introducción</b>  |      |                                 |              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Introducción al modelado y simulación de sistemas</li> </ul>  | 0.1  | 1                               | OBJ 1        |
| <b>Modelado y Simulación de Sistemas de Eventos Discretos</b>  |      |                                 |              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Modelado de Sistemas de Eventos Discretos: conceptos básicos, grafos de eventos, diagramas de ciclo de actividad (ACD), redes de Petri (RdP), redes de Petri coloreadas (RdPC).</li> <li>Uso de la estadística en el modelado Sistemas de Eventos Discretos: estimación de parámetros y validación de modelos de eventos discretos.</li> </ul>                                    | 2.7  | 2-7 y 15                        | OBJ 2, 6 y 7 |
| <b>Conceptos básicos de la simulación de sistemas continuos</b>  |      |                                 |              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Conceptos básicos de la simulación de modelos matemáticos dinámicos en un computador. Ecuaciones en diferencias.</li> <li>Asignación de la causalidad de modelos de ODEs para su simulación.</li> <li>Transformación de los modelos de ODEs en diagramas de bloques de simulación, en funciones de transferencia y espacio de estados, tanto continuos como discretos.</li> </ul> | 0.7  | 8-9                             | OBJ 3 y 6    |
| <b>Modelado de sistemas físicos continuos</b>  |      |                                 |              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Modelado de sistemas electromecánicos. Modelado de sistemas de la industria de procesos. Modelado de sistemas físicos con eventos. Modelado de sistemas dinámicos con distribución espacial de las propiedades (ecuaciones en derivadas parciales)</li> <li>Linealización de modelos dinámicos</li> <li>Parametrización y validación de modelos</li> </ul>                        | 1.4  | 10-11 y 15                      | OBJ 5, 7 y 8 |
| <b>Métodos numéricos para la simulación de sistemas dinámicos</b>  |      |                                 |              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Métodos de integración de ODEs</li> <li>Conceptos de estabilidad numérica y rigidez</li> <li>Métodos de resolución de ecuaciones algebraicas</li> <li>Simulación de sistemas continuos con eventos</li> </ul>   | 0.8  | 12-14                           | OBJ 4        |
| <b>Herramientas informáticas para la simulación de sistemas</b>  |      |                                 |              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Lenguajes de simulación de sistemas continuos</li> <li>Lenguajes de simulación de sistemas de eventos discretos</li> <li>Aplicaciones de la simulación</li> </ul>   | 0.3  | Todas                           | OBJ 9        |



## **Materiales docentes**

### **Acceso a la bibliografía:**

[https://buc-uva.alma.exlibrisgroup.com/leganto/public/34BUC\\_UVA/lists/4902691650005774?auth=SAML](https://buc-uva.alma.exlibrisgroup.com/leganto/public/34BUC_UVA/lists/4902691650005774?auth=SAML)

### **Bibliografía básica**

- bb -1. Continuous System Modelling. Francois E. Cellier. Springer-Verlag New York, 1991.
- bb -2. Simulation of industrial processes for control engineers / Philip Thomas. Butterworth-Heinemann, 1999
- bb -3. La edición de estudiante de SIMULINK. Prentice Hall.
- bb -4. Modelado, Simulación y Análisis de Procesos Logísticos, de Fabricación y de Servicios. Guasch A., Piera M.A, Casanovas J. & Figuera J. Edicions UPC, 2001.
- bb -5. Simulation with Arena. D. Kelton, R. Sadowski. McGrawHill. 2002.
- bb -6. Modelado y Simulación de Eventos Discretos. Urquía A. & Martín C. Editorial: UNED, 2013
- bb -7. Simulación de sistemas con el software Arena. Torres Vega, Pedro. ISBN 978-9972-45-269-7

### **Bibliografía complementaria**

- bc -1. Introduction to Discrete Event Simulation and Agent-Based Modeling : Voting Systems, Health Care, Military, and Manufacturing . Allen, Theodore T.1st ed. 2011. London, England: Springer, 2011. Web.
- bc -2. Modeling, Identification and Simulation of Dynamical Systems. P.P.J.van den Bosch, A.C. van der Klauw. 1994 CRC Press.
- bc -3. Simulation and modelling of continuous systems: A case study approach, D. Matko, R. Karba, and B. Zupaučič, Prentice-Hall, Hemel Hempstead, 1992, ISBN 0-13-808064-X.
- bc -4. Introducción al modelado y simulación con EcosimPro. Francisco Vázquez, Jorge Jiménez, Juan Garrido y Antonio Belmonte. Editorial PEARSON (2010).
- bc -5. Continuous System Simulation. Cellier F. & Kofman E. Springer, 2006.

### **Recursos necesarios**

- Aula con proyector multimedia y pizarra para sesiones de teoría.
- Aula de simulación con proyector multimedia.
- Plataforma educativa, Campus Virtual Uva, para publicar material didáctico, guías de ejercicios, soluciones, tareas, etc.
- Software de simulación ARENA y MATLAB/SIMULINK.
- Acceso al material bibliográfico recomendado.

### **Temporalización**

La temporalización detallada de los contenidos se publicará en el Campus Virtual de la asignatura antes del inicio de la impartición de la asignatura.

## 5. Métodos docentes y principios metodológicos

### Actividades presenciales:

- Lección magistral.
- Prácticas de laboratorio: Estudio de casos.
- Resolución de ejercicios y problemas, aprendizaje basado en problemas y aprendizaje cooperativo.

### Actividades no presenciales:

- Docencia inversa mediante videos.
- Trabajo individual: Estudio/trabajo personal.
- Trabajo en grupo: Aprendizaje basado en problemas y aprendizaje cooperativo. Realización de informes.

Exposición en las sesiones de teoría presenciales de los fundamentos teóricos, así como de contenidos de índole práctica/analítica (desarrollo de problemas y ejercicios breves en computador).

Las sesiones de laboratorio presenciales, duración de cada sesión 2 h, estarán dedicadas al uso de programas de simulación para llevar a la práctica los contenidos desarrollados en las sesiones de teoría.

La docencia inversa se dedicará a que el alumno pueda adquirir conocimientos de forma previa a su uso en las sesiones presenciales, a complementar los conocimientos adquiridos en las sesiones presenciales y a ayudar en la resolución de las prácticas de laboratorio que se deban realizar de forma no presencial usando el mismo software que en los laboratorios.

Como trabajo en grupo por parejas, se solicitará a los alumnos la elaboración de dos informes relativos a las prácticas de laboratorio. Uno referente a las sesiones de simulación de sistemas de eventos discretos y otro a las sesiones de simulación de sistemas continuos. Ambos informes deberán reflejar las competencias relativas al uso de software para resolver los problemas prácticos que se plantean en la asignatura.

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

| ACTIVIDADES PRESENCIALES o PRESENCIALES A DISTANCIA <sup>(1)</sup> | HORAS     | ACTIVIDADES NO PRESENCIALES           | HORAS      |
|--|-----------|---------------------------------------|------------|
| Clases teórico-prácticas (T/S)                                     | 30        | Estudio y trabajo autónomo individual | 70         |
| Laboratorios (L)   | 30        | Estudio y trabajo autónomo grupal     | 20         |
|  |           |                                       |            |
|  |           |                                       |            |
| Total presencial   | <b>60</b> | Total no presencial                   | <b>90</b>  |
| TOTAL presencial + no presencial                                   |           |                                       | <b>150</b> |

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

## 7. Sistema y características de la evaluación

Criterio: cuando al menos el 50% de los días lectivos del cuatrimestre transcurran en normalidad, se asumirán como criterios de evaluación los indicados en la guía docente. Se recomienda la evaluación continua ya que implica minimizar los cambios en la agenda.

### Convocatoria ordinaria:

| INSTRUMENTO/ PROCEDIMIENTO   | PESO EN LA NOTA FINAL | OBSERVACIONES  |
|--|-----------------------|--|
| <i>Evaluación final</i>  | 40%                   | Se realizará una <b>prueba teórica</b> en la fecha indicada en el calendario de exámenes   |
| <i>Evaluación continua basada en resolución de problemas</i>                       | 20%                   | A lo largo del curso se realizarán <b>dos pruebas escritas de resolución de problemas. Ambas pruebas tienen igual peso.</b><br>Dichas pruebas consistirán en la resolución de ejercicios teórico-prácticos relacionados con las sesiones de teoría y problemas.                          |
| <i>Evaluación continua basada en pruebas parciales de prácticas experimentales</i> | 40%                   | A lo largo del curso se realizarán <b>dos pruebas prácticas usando el computador. Ambas pruebas tienen igual peso.</b><br>Dichas pruebas consistirán en la resolución de un caso práctico y podrán contener cuestiones concretas relacionadas con las sesiones prácticas de laboratorio. |

### Convocatoria extraordinaria:

| INSTRUMENTO/ PROCEDIMIENTO | PESO EN LA NOTA FINAL | OBSERVACIONES  |
|----------------------------|-----------------------|--|
| <i>Evaluación final</i>    | 100%                  | Se realizará una prueba teórica (60%) y una prueba práctica usando el computador (40%) en la fecha indicada en el calendario de exámenes |

## 8. Consideraciones finales

La docencia será presencial, pero por razones organizativas del Centro y de la UVa, algunas actividades podrían impartirse de forma remota.