



### 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. Los detalles de la asignatura serán informados por el Campus Virtual.

Se recuerda la importancia que tienen los comités de título en su labor de verificar la coherencia de las guías docentes de acuerdo con lo recogido en la memoria de verificación del título y/o en sus planes de mejora. Por ello, **tanto la guía, como cualquier modificación** que sufra en aspectos "regulados" (competencias, metodologías, criterios de evaluación y planificación, etc..) deberá estar **informada favorablemente por el comité** de título **ANTES** de ser colgada en la aplicación web de la UVa. Se ha añadido una fila en la primera tabla para indicar la fecha en la que el comité revisó la guía.

<b>Asignatura</b>	MECANISMOS DE REGULACIÓN EN SISTEMAS FISIOLÓGICOS		
<b>Materia</b>	REGULACIÓN DE SISTEMAS		
<b>Módulo</b>	MODULO OPTATIVO 1 DE ESPECIALIZACIÓN TÉCNICA.		
<b>Titulación</b>	MÁSTER EN INGENIERÍA BIOMÉDICA		
<b>Plan</b>	723	<b>Código</b>	55379
<b>Periodo de impartición</b>	1º CUATRIMESTRE	<b>Tipo/Carácter</b>	OPTATIVA
<b>Nivel/Ciclo</b>		<b>Curso</b>	
<b>Créditos ECTS</b>	3 (75 h)		
<b>Lengua en que se imparte</b>	ESPAÑOL		
<b>Profesor/es responsable/s</b>	ALBERTO HERREROS LÓPEZ		
<b>Datos de contacto (E-mail, teléfono...)</b>	albher@uva.es		
<b>Departamento</b>	INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA		
<b>Fecha de revisión por el Comité de Título</b>	24 de junio de 2024		



## 1. Situación / Sentido de la Asignatura

---

### 1.1 Contextualización

---

Esta asignatura se dedica al estudio de las técnicas de modelado experimental y control de sistemas fisiológicos y de dispositivos médicos. El alumno ya dispone de conocimientos básicos de matemáticas como álgebra, cálculo y ecuaciones diferenciales, de tecnologías como biomecánica, electrónica e instrumentación, así como conocimientos de bioinformática y programación. Por otro lado, es aconsejable que el alumno haya cursado una asignatura relacionada con el modelado y simulación de sistemas. La primera parte de la asignatura es un recordatorio de los principales conceptos sobre modelado, simulación, identificación y análisis de sistemas. La parte fundamental de la asignatura es el estudio de sistemas fisiológicos realimentados de forma natural y el estudio de la realimentación y control de sistemas en dispositivos médicos. Se analizará la homeostasis en sistemas fisiológicos como sistema de regulación de ciertas variables como la temperatura corporal, el nivel de glucosa en sangre, etc. Se estudiará la estructura de control, los controladores más frecuentes, y las técnicas de diseño de controladores aplicadas a dispositivos médicos. La asignatura está enfocada de forma práctica, por lo que se va a usar principalmente software de simulación Matlab, Simulink (librería SimSpace) así como dispositivos médicos reales, en la medida que sea posible.

### 1.2 Relación con otras materias

---

Esta asignatura está vinculada con la asignatura de grado "Modelado, Simulación de Sistemas Biológicos". Mientras que en la asignatura de grado se estudia el modelado, la simulación y el análisis de sistemas biológicos, en esta asignatura se estudia las estrategias de control de sistemas fisiológicos y el control de dispositivos médicos. Para cursar esta asignatura se deberían poseer conocimientos de matemáticas, programación en Matlab y Simulink y los conceptos básicos de modelado, simulación y análisis de sistemas.

### 1.3 Prerrequisitos

---

Dado el número de créditos que tiene esta asignatura (3 ECTS, 75 horas) es casi obligado que el alumno tenga conocimientos previos de modelado, simulación y análisis de sistemas. Por el mismo motivo, es casi obligado que el alumno sepa programar en Matlab y Simulink, ya que va a ser la herramienta con la que se desarrollen las prácticas.



## 2. Competencias

### 2.1 Generales

### 2.2 Específicas

Contenidos;

- CN-TB-1: Conocer las técnicas de modelado experimental y control de sistemas biológicos y fisiológicos.

Habilidades:

- HD-TB-1: Utilizar las herramientas informáticas para analizar, calcular, representar y gestionar información de modelos matemáticos en el ámbito de la Ingeniería Biomédica.

Competencias:

- CM-TB-1: Modelar la estructura y funcionamiento de sistemas biológicos mediante herramientas matemáticas y computacionales





### 3. Objetivos

La asignatura se estructura en dos bloques:

Bloque 1: Modelado, simulación y análisis de sistemas.

En este bloque se estudiarán las técnicas de modelado, identificación y simulación de sistemas. Además, se utilizarán programas informáticos de simulación de los modelos anteriormente obtenidos. Los modelos obtenidos van a ser linealizados para su posterior análisis en tiempo y frecuencia. El alumno debería tener conocimientos previos de este bloque.

Bloque 2: Control de sistemas fisiológicos y control de dispositivos médicos.

En este bloque se va a analizar en primer lugar los mecanismos reguladores internos de los sistemas fisiológicos. Basándose en sus modelos matemáticos, se analizará las realimentaciones internas de los mismo. En segundo lugar, se analizará los lazos de control y controladores que se pueden aplicar a diferentes dispositivos médicos. Se estudiará diferentes técnicas para el diseño de controladores y optimización de sus parámetros.



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

##### Bloque 1: “Modelado, simulación y análisis de sistemas”

Carga de trabajo en créditos ECTS: 1

###### a. Contextualización y justificación

El objetivo de este bloque es explicar de forma general el modelado, simulación y análisis de sistemas biomédicos. Se supone que el alumno tiene conocimientos previos en estas materias. Se estudiará la forma de modelar diferentes sistemas, con su representación interna y externa a partir de ecuaciones diferenciales. Se definirá el concepto de estado y las representaciones en variables de estado. Se estudiará la transformada de Laplace y la formulación de ecuaciones diferenciales lineales en este entorno. Se simularán diferentes sistemas usando las herramientas de Matlab y Simulink (librería SimScape). Se analizará el comportamiento temporal y frecuencial de los diferentes sistemas.

###### b. Objetivos de aprendizaje

Al finalizar este bloque el alumno deberá ser capaz de:

- Modelar un sistema en ecuaciones diferenciales, variables de estado y transformada de Laplace.
- Identificar los parámetros del modelo a partir de los datos de las señales del mismo.
- Analizar y clasificar en tiempo y frecuencia un modelo.
- Aplicar herramientas computacionales al modelado, identificación y análisis de sistemas.

###### c. Contenidos

- Modelado de sistemas no lineales y lineales usando ecuaciones diferenciales, variables de estado y transformada de Laplace.
- Identificación de los parámetros de un sistema a partir de los datos de entradas y salidas.
- Clasificación de sistemas a partir de su linealización. Análisis de los mismos en tiempo y frecuencia.

###### d. Métodos docentes

Se plantea el uso combinado de las metodologías docentes siguientes: sesiones teóricas en aula, sesiones prácticas en laboratorio, trabajo persona de estudio y de realización de problemas. El programa teórico se coordina temporalmente con la realización de los problemas y las prácticas de cada tema. Se propone articular el trabajo práctico de los estudiantes en el curso a través del aprendizaje cooperativo y la evaluación continua.



Actividades presenciales: clase expositivas de los contenidos teóricos, prácticas en laboratorio, seminarios sobre temas avanzados y tutorías.

Actividades no presenciales: estudio y resolución de problemas.

### e. Plan de trabajo

Tema	Título del tema	Teoría	Laboratorio
1	Modelado de sistemas y simulación	2	2
2	Identificación de los parámetros	1	1
3	Análisis y clasificación de sistemas en tiempo y frecuencia	2	2

### f. Evaluación

La asignatura es esencialmente práctica, por lo que se evaluará con trabajos de laboratorio y un examen donde se usaran las mismas herramientas que se han usado en los laboratorios y clases, Matlab y Simulink. El alumno tendrá de exponer las prácticas realizadas en los laboratorios al profesor para su evaluación.

### g. Material docente

Es fundamental que las referencias suministradas este curso estén actualizadas y sean completas. Los profesores tienen acceso, a la **plataforma Leganto de la Biblioteca** para actualizar su bibliografía recomendada ("Listas de Lecturas"). Si ya lo han hecho, pueden poner tanto en la guía docente como en el Campus Virtual el enlace permanente a Leganto.

La Biblioteca se basa en la bibliografía recomendada en la Guía docente para adaptar su colección a las necesidades de docencia y aprendizaje de las titulaciones.

Si tienes que actualizar tu bibliografía, el enlace es el siguiente, <https://buc-uva.alma.exlibrisgroup.com/leganto/login?auth=SAML> (acceso mediante tus claves UVa). Este enlace te envía a la página de autenticación del directorio UVa, el cual te redirige a Leganto. Una vez allí, aparecerán, por defecto, las listas de lectura correspondientes a las distintas asignaturas que impartes ("instructor" en la terminología de Leganto / Alma). Desde aquí podrías añadir nuevos títulos a las listas existentes, crear secciones dentro de ellas o, por otra parte, crear nuevas listas de bibliografía recomendada.

Puedes consultar las listas de lectura existentes mediante el buscador situado en el menú de arriba a la izquierda, opción "búsqueda de listas".

En la parte superior derecha de cada lista de lectura se encuentra un botón con el signo de omisión "•••" (puntos suspensivos), a través del cual se despliega un menú que, entre otras opciones, permite "Crear un enlace compartible" que puede dirigir o bien a la lista de lectura concreta o bien al "Curso" (asignatura). Este enlace se puede indicar tanto en el apartado "g. Materiales docentes" (y subapartados) de la Guía Docente como en la sección de Bibliografía correspondiente a la asignatura en el Campus Virtual Uva.

Para resolver cualquier duda puedes consultar con la biblioteca de tu centro. [Guía de Ayuda al profesor](#)

#### g.1 Bibliografía básica

- Van Meurs, W. (2011). Modeling and Simulation in Biomedical Engineering: Applications in Cardiorespiratory Physiology. McGraw-Hill Education.
- DiStefano III, J. (2015). Dynamic systems biology modeling and simulation. Academic Press.



- Fernández de Cañete, J. Galindo C. Barbancho J. y Luque A. Automatic Control Systems in Biomedical Engineering. Springer

## **g.2 Bibliografía complementaria**

- Dorsey J. Sistemas de control continuos y discretos. Mc GrawHill.
- Mandal, M. y Asif, A. Continuous and Discrete Time Signal and Systems, Cambridge.

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

## **h. Recursos necesarios**

La universidad de Valladolid dispone de una licencia de campus de Matlab y Simulink que permite a los alumnos descargarse dicho software a su ordenador. Las aulas de informática de la universidad también disponen de dicho software. Se proporcionarán ejercicios resueltos y guiones de las prácticas de laboratorio.

## **i. Temporalización**

BLOQUE TEMÁTICO	CARGA ECTS	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO
Modelado, simulación y análisis de sistemas	1	Semanas 1 a 5

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

### **Bloque 2: “Control en sistemas fisiológicos y dispositivos médicos”**

**Carga de trabajo en créditos ECTS:** 2

#### **a. Contextualización y justificación**

Este bloque es la mayor novedad de esta asignatura, ya que se supone que el alumno ya tenía conocimientos del primer bloque. En este bloque se explicará la estructura de control de los sistemas fisiológicos y el diseño de controladores para dispositivos médicos. Se empezará por explicar las realimentaciones internas de sistemas fisiológicos reales, como el sistema glucosa insulina. Se comparará modelos matemáticos con datos reales para identificar los parámetros de dichos modelos. Luego se plantea diferentes estructuras de control para sistemas una entrada una salida (SISO) y múltiple entrada, múltiple salida aplicados a dispositivos médicos. Se define el controlador más usado en la industria, el controlador PID (proporcional-integral-derivativo) en sus diferentes formulaciones. Se explica diferentes técnicas para la optimización de sus parámetros. Se



aplicará dicho controlador a diferentes sistemas médicos, por ejemplo, los robots médicos, humanoides, bomba de insulina, etc.

### b. Objetivos de aprendizaje

---

Al finalizar este bloque el alumno deberá ser capaz de:

- Entender la realimentación interna de diferentes sistemas fisiológicos.
- Entender las diferentes estructuras de control que se pueden aplicar a un sistema SISO (Simple Entrada, Simple Salida) y MIMO (Múltiple Entrada, Múltiple Salida).
- Comprender la formulación de un controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo).
- Sintonizar un controlador PID usando diferentes técnicas.
- Aplicar dicho controlador a diferentes dispositivos médicos.

### c. Contenidos

---

- Modelado de sistemas biomédicos reales con realimentación interna.
- Estructuras de control en un sistema SISO (Simple Entrada, Simple Salida) y MIMO (Múltiple Entrada, Múltiple Salida).
- Formulación de un controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo).
- Sintonización de un PID usando diferentes técnicas.
- Aplicación al control de sistemas basados en dispositivos médicos.

### d. Métodos docentes

---

Se plantea el uso combinado de las metodologías docentes siguientes: sesiones teóricas en aula, sesiones prácticas en laboratorio, trabajo persona de estudio y de realización de problemas. El programa teórico se coordina temporalmente con la realización de los problemas y las prácticas de cada tema. Se propone articular el trabajo práctico de los estudiantes en el curso a través del aprendizaje cooperativo y la evaluación continua.

Actividades presenciales: clase expositivas de los contenidos teóricos, prácticas en laboratorio, seminarios sobre temas avanzados y tutorías.

Actividades no presenciales: estudio y resolución de problemas.

### e. Plan de trabajo

---

Tema	Título del tema	Teoría	Laboratorio
------	-----------------	--------	-------------





4	Modelado de sistemas fisiológicos realimentados. Identificación de sus parámetros	3	3
5	Estructuras de control en sistemas SISO (simple entrada, simple salida), MIMO (múltiple entrada, múltiple salida)	2	2
7	Formulación y sintonización de controladores PID (proporcional, integral y derivativo)	2	2
8	Control de sistemas basados en dispositivos médicos	3	3

## f. Evaluación

La asignatura es esencialmente práctica, por lo que se evaluará con trabajos de laboratorio y un examen donde se usaran las mismas herramientas que se han usado en los laboratorios y clases, Matlab y Simulink. El alumno tendrá de exponer las prácticas realizadas en los laboratorios al profesor para su evaluación.

## g. Material docente

Es fundamental que las referencias suministradas este curso estén actualizadas y sean completas. Los profesores tienen acceso, a la **plataforma Leganto de la Biblioteca** para actualizar su bibliografía recomendada ("Listas de Lecturas"). Si ya lo han hecho, pueden poner tanto en la guía docente como en el Campus Virtual el enlace permanente a Leganto.

La Biblioteca se basa en la bibliografía recomendada en la Guía docente para adaptar su colección a las necesidades de docencia y aprendizaje de las titulaciones.

Si tienes que actualizar tu bibliografía, el enlace es el siguiente, <https://buc-uva.alma.exlibrisgroup.com/leganto/login?auth=SAML> (acceso mediante tus claves UVa). Este enlace te envía a la página de autenticación del directorio UVa, el cual te redirige a Leganto. Una vez allí, aparecerán, por defecto, las listas de lectura correspondientes a las distintas asignaturas que impartes ("instructor" en la terminología de Leganto / Alma). Desde aquí podrías añadir nuevos títulos a las listas existentes, crear secciones dentro de ellas o, por otra parte, crear nuevas listas de bibliografía recomendada.

Puedes consultar las listas de lectura existentes mediante el buscador situado en el menú de arriba a la izquierda, opción "búsqueda de listas".

En la parte superior derecha de cada lista de lectura se encuentra un botón con el signo de omisión "•••" (puntos suspensivos), a través del cual se despliega un menú que, entre otras opciones, permite "Crear un enlace compartible" que puede dirigir o bien a la lista de lectura concreta o bien al "Curso" (asignatura). Este enlace se puede indicar tanto en el apartado "g. Materiales docentes" (y subapartados) de la Guía Docente como en la sección de Bibliografía correspondiente a la asignatura en el Campus Virtual Uva.

Para resolver cualquier duda puedes consultar con la biblioteca de tu centro. [Guía de Ayuda al profesor](#)

### g.1 Bibliografía básica

- Van Meurs, W. (2011). Modeling and Simulation in Biomedical Engineering: Applications in Cardiorespiratory Physiology. McGraw-Hill Education.
- DiStefano III, J. (2015). Dynamic systems biology modeling and simulation. Academic Press.
- Fernández de Cañete, J. Galindo C. Barbancho J. y Luque A. Automatic Control Systems in Biomedical Engineering. Springer

### g.2 Bibliografía complementaria

- Astrom, K. Control PID avanzado. Prentice Hall.
- Friedland, B. Control System Design. McGraw Hill



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

#### **h. Recursos necesarios**

La universidad de Valladolid dispone de una licencia de campus de Matlab y Simulink que permite a los alumnos descargarse dicho software a su ordenador. Las aulas de informática de la universidad también disponen de dicho software. Se proporcionarán ejercicios resueltos y guiones de las prácticas de laboratorio.

#### **i. Temporalización**

BLOQUE TEMÁTICO	CARGA ECTS	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO
Control en sistema fisiológicos y dispositivos médicos	2	Semanas 6 a 15

### **5. Métodos docentes y principios metodológicos**

- Se realizarán dos tipos de actividades: presenciales y no presenciales.
- Las actividades presenciales se llevarán a cabo haciendo uso de las siguientes metodologías:
  - Clases de teoría: Lección magistral apoyadas con software de simulación.
  - Prácticas de laboratorio: Diseño, implementación y evaluación de casos prácticos.
  - Seminarios, problemas, tutorías y evaluación: Resolución de ejercicios y problemas, aprendizaje basado en problemas, y aprendizaje cooperativo.
- Las actividades no presenciales utilizarán las siguientes metodologías:
  - Trabajo individual: Estudio/trabajo personal.
  - Trabajo en grupo: Aprendizaje basado en problemas y aprendizaje cooperativo.



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

ACTIVIDADES PRESENCIALES o PRESENCIALES A DISTANCIA <sup>(1)</sup>	HORAS	ACTIVIDADES NO PRESENCIALES	HORAS
Clase de teoría	15	Trabajo individual	15
Prácticas de laboratorio	15	Trabajo en grupo	30
Total presencial	<b>30</b>	Total no presencial	<b>45</b>
TOTAL presencial + no presencial			<b>75</b>

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

## 7. Sistema y características de la evaluación

INSTRUMENTO/PROCEDIMIENTO	PESO EN LA NOTA FINAL	OBSERVACIONES
Evaluación continua, basada en prácticas experimentales, informes de prácticas	60%	El alumno debe exponer de forma presencial las prácticas al profesor.
Evaluación final, basada en un examen presencial	40%	En el examen se usará el ordenador y software usado en la asignatura.
<b>CRITERIOS DE CALIFICACIÓN</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Convocatoria ordinaria:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Los problemas y prácticas de laboratorio se entregarán en las fechas indicadas antes del examen de la convocatoria ordinaria. El alumno debe exponer los resultados de las prácticas al profesor.</li> <li>○ El examen se realizará usando ordenador y el software de la asignatura. Se deberá obtener un mínimo del 20% de la calificación del examen.</li> </ul> </li> <li>• <b>Convocatoria extraordinaria<sup>(*)</sup>:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Se guardará la calificación obtenida en las prácticas de la convocatoria ordinaria.</li> <li>○ El examen se realizará usando ordenador y el software de la asignatura. Se deberá obtener un mínimo del 20% de la calificación del examen.</li> </ul> </li> </ul>		

(\*) Se entiende por convocatoria extraordinaria la segunda convocatoria.

**Art 35.4 del ROA 35.4. La participación en la convocatoria extraordinaria no quedará sujeta a la asistencia a clase ni a la presencia en pruebas anteriores, salvo en los casos de prácticas externas, laboratorios u otras actividades cuya evaluación no fuera posible sin la previa realización de las mencionadas pruebas.**

<https://secretariageneral.uva.es/wp-content/uploads/VII.2.-Reglamento-de-Ordenacion-Academica.pdf>

## 8. Consideraciones finales

- Profesor que imparte la asignatura: Alberto Herreros López ([albher@uva.es](mailto:albher@uva.es))
- Para las clases de prácticas y laboratorios de simulación se utilizará principalmente Matlab y Simulink (librería SimScape), aunque podría complementarse con otros lenguajes informáticos como Python y Arduino.
- La docencia será presencial.

