



Universidad de Oviedo  
*Universidá d'Uviéu*  
University of Oviedo

## Introducción de la herramienta de simulación “Simscape Fluids” para las prácticas de Máquinas y Sistemas Fluidomecánicos (PINN-19-A-006)

---

*Convocatoria de los Proyectos de Innovación Docente 2019*

Jesús Manuel Fernández Oro – [jesusfo@uniovi.es](mailto:jesusfo@uniovi.es)- Dpto. Energía  
Eduardo Blanco Marigorta – [eblanco@uniovi.es](mailto:eblanco@uniovi.es)- Dpto. Energía  
José González Pérez – [aviados@uniovi.es](mailto:aviados@uniovi.es)- Dpto. Energía  
Raúl Barrio Perotti – [barrioraul@uniovi.es](mailto:barrioraul@uniovi.es)- Dpto. Energía  
Bruno Pereiras García – [pereirasbruno@uniovi.es](mailto:pereirasbruno@uniovi.es)- Dpto. Energía  
Mónica Galdo Vega – [galdomonica@uniovi.es](mailto:galdomonica@uniovi.es)- Dpto. Energía  
Pedro García Regodeseves – [garciarpedro@uniovi.es](mailto:garciarpedro@uniovi.es)- Dpto. Energía

**Palabras clave:** *Simulación, Prácticas, MATLAB, Simscape Fluids.*

### Tipo de proyecto

Tipo A (PINN-18-A)	<b>X</b>
--------------------	----------

Tipo B (PINN-18-B)	
--------------------	--

*En este apartado decir el tipo de proyecto (Tipo A o Tipo B) y únicamente en caso de ser de tipo B, describir las ampliaciones y novedades con respecto a los proyectos anteriores de los cuales es continuación y la referencia al proyecto previo.*

### Resumen / Abstract

El proyecto de innovación presentado tiene como objetivo fundamental introducir la herramienta de simulación Simscape Fluids en las prácticas de la asignatura de tercer curso, Máquinas y Sistemas Fluidomecánicos, del Grado en Ingeniería Mecánica. Una parte importante de las prácticas de dicha asignatura consiste en el diseño y dimensionamiento de varios circuitos hidráulicos de uso habitual en la industria (circuitos oleo-hidráulicos de potencia, sistemas de bombeo de agua y sistemas de ventilación industrial) y que actualmente se viene impartiendo de forma tradicional. Se pretende explotar la potencialidad de la herramienta Simscape Fluids, desarrollada en el entorno de programación Simulink de Matlab (y del cual la Universidad dispone licencia Campus), para que los alumnos modelen sus diseños en esa plataforma, chequeando su idoneidad y validando las soluciones adoptadas. Simscape Fluids es un módulo avanzado de Simulink que incorpora librerías para modelar y simular sistemas de fluidos. Aunque se basa en el lenguaje de programación propio de Matlab, el paquete Simscape Fluids



Universidad de Oviedo  
*Universidá d'Uviéu*  
University of Oviedo

permite realizar un modelado físico de diversos sistemas de forma sencilla, concatenando y uniendo bloques predefinidos que representan los elementos típicos presentes en los sistemas de fluidos y que pueden ser fácilmente parametrizados por los alumnos. Esta iniciativa pretende además aumentar la motivación de los estudiantes, iniciarles en el uso de la simulación de sistemas complejos como herramienta en la ingeniería, e incluso mejorar y sistematizar la evaluación de los proyectos y optimizar la coordinación entre los docentes.

## **1 Contribución del proyecto a la consecución de los objetivos específicos y de los objetivos de la convocatoria**

### **1.1 Objetivos específicos (OE) del proyecto conseguidos. Indicar y valorar el grado de consecución de cada uno.**

El primer objetivo específico del proyecto consistía en aumentar el grado de interés de los alumnos en las prácticas con la incorporación de herramientas de simulación (OE1, con un peso del 10% del total de objetivos). La introducción de este tipo de actividades, en un entorno digital, permitió a los alumnos adquirir competencias adicionales en la resolución de problemas de diseño de instalaciones de fluidos. Además, las encuestas de satisfacción respondidas por los alumnos han mostrado una valoración general positiva del proyecto (un 89% de aceptación, ver sección 3.3), con una participación en las encuestas del 70% (48 de 67 alumnos), lo que permite concluir que este objetivo se cumplió satisfactoriamente (Grado de consecución del 100%).

Un segundo objetivo específico perseguía generar material docente para las prácticas, tanto de los grupos en castellano como del grupo bilingüe de la asignatura, OE2 con una ponderación del 15% del total de objetivo. En relación a este punto, se generaron todos los tutoriales y materiales de apoyo necesarios para la realización de los seminarios por parte del alumnado, así como los modelos editables para su parametrización. Además, todo el material estuvo disponible en tiempo y forma por lo que se concluye el cumplimiento adecuado de este objetivo (Grado de consecución del 100%).

Como objetivos principales, se pretendía promover el empleo de programas de simulación para fomentar en los alumnos la revisión crítica de las soluciones adoptadas (OE3, con una ponderación del 30%), así como facilitar una herramienta de simulación en las prácticas para diseñar y evaluar anteproyectos de circuitos hidráulicos (OE4, 30%). A pesar de que el empleo de esta nueva metodología no se fijó como obligatoria, el grado de respuesta por parte del alumnado fue muy satisfactorio, rozando prácticamente el 40,3% de los alumnos que realizaron las prácticas (ver tabla 1 en sección 3.3). Como primer año de implantación, se considera que el grado de respuesta de los alumnos ha sido muy notable, y aunque queda margen de mejora para los próximos años, se considera que el grado de consecución de estos objetivos ha sido óptimo (100%).

Por último, se fijó como objetivo final OE5, definir un proceso de corrección unificado para los circuitos planteados que esté basado en criterios de corrección objetivos (peso en el proyecto del 15%). La evaluación de cada grupo de práctica, a cargo de los diversos profesores que participan en este proyecto de innovación, se realizó coordinadamente y siguiendo criterios de corrección consensuados, de modo que se considera un grado de consecución satisfactorio del 100%.



Universidad de Oviedo  
*Universidá d'Uviéu*  
*University of Oviedo*

## **1.2 Objetivos de la convocatoria a los que se dirigía el proyecto conseguidos. Indicar valoración del grado de consecución.**

Los objetivos específicos detallados con anterioridad se alineaban con los siguientes objetivos prioritarios (OP) de la convocatoria:

En relación a la innovación docente en el ámbito de la metodología docente (bloque 1), se pretendía “c) potenciar acciones que consigan incentivar la asistencia del alumnado a las clases presenciales y captar su atención” (OP1). Grado de consecución del 100%, merced al mayor grado de implicación e interés en las prácticas por los alumnos, tal y como se detalló en los objetivos específicos.

Respecto a la innovación docente para el desarrollo de competencias transversales (bloque 2), se buscaba “b) la creación de proyectos o recursos donde se fomenten el uso de las habilidades del alumnado en lenguas extranjeras como uno de los medios para mejorar sus logros profesionales” (OP2). Grado de consecución del 100%, a través de la creación del material de trabajo a tal efecto.

En el bloque principal 3, sobre innovación docente en el ámbito de la tutoría y orientación al alumnado, se desarrollaron los objetivos: “b) desarrollar la capacidad de trabajo y formación autónoma del alumnado a través de la educación virtual” (OP3) y “desarrollar metodologías de enseñanza-aprendizaje de carácter práctico” (OP4). Grado de consecución del 100%, como se desprende del cumplimiento de los objetivos específicos.

Finalmente, en el bloque de innovación de coordinación docente, se trató de “b) potenciar la coordinación entre profesores, así como el desarrollo de proyectos interdisciplinarios e intercurriculares” (OP5), nuevamente con un grado de consecución del 100% de acuerdo a lo detallado en los objetivos específicos.

## **2 Contribución del proyecto al plan estratégico de la Universidad y repercusiones en la docencia.** *Para la elaboración de este apartado describir el grado de cumplimiento de los compromisos adquiridos del punto 5 de la solicitud del proyecto.*

### **2.1 Alineamiento del Proyecto de Innovación Docente con el Plan Estratégico 2018-2022 de la Universidad de Oviedo en materia docente.**

El presente proyecto de innovación se alineó con los epígrafes FAE 5(10%), FAE 6 (25%), FAE 7 (35%), FAE 14 (10%), FAE 15 (10%) y FAE31 (10%).

Respecto al epígrafe FAE 5, la introducción de esta nueva herramienta de simulación ha permitido actualizar la docencia de la parte práctica de la asignatura, dotando al alumnado de una nueva metodología para el diseño y la resolución de sistemas de fluidos, incorporando así nuevas técnicas docentes a nivel de estudios de grado.

Respecto al epígrafe FAE 6, el proyecto ha profundizado en la incorporación de herramientas on-line, dado que el módulo Simscape utilizado es parte del paquete de Matlab con licencia Campus disponible para todo el alumnado. Además, se ha establecido



Universidad de Oviedo  
*Universidá d'Uviéu*  
*University of Oviedo*

que los alumnos puedan resolver en casa los proyectos de diseño con la herramienta Simscape, mejorando la calidad de las actividades formativas on-line.

En relación con el epígrafe FAE 7, el proyecto de innovación docente ha permitido mejorar el rendimiento académico de los estudiantes (tal y como se detalla en el siguiente apartado 3.3 de la presente Memoria), aumentando al mismo tiempo el número de experiencias innovadoras educativas.

Las acciones de la FAE14 se han visto refrendadas con la adquisición de competencias transversales por parte de los alumnos con la realización de los proyectos de diseño apoyándose en la herramienta Simscape. En particular, la capacidad de juzgar soluciones con criterios técnicos, el desarrollar modelos de simulación de componentes físicos y el de elaborar informes técnicos han sido los principales ejes de actuación con respecto a esta directriz.

Para la FAE15, se puede destacar la idoneidad de formar a los alumnos en técnicas de simulación que son ya hoy día práctica habitual en el desempeño profesional de los graduados en Ingeniería. Estas actividades son esenciales para que los alumnos sepan resolver problemas y elaborar dictámenes técnicos sobre el funcionamiento de sistemas en la Ingeniería.

Por último, en caso del FAE31, se ha dotado a los alumnos de un material original, realizado por el profesorado, y con objeto de aumentar el contenido de calidad publicado en el Campus Virtual de la Universidad de Oviedo.

A la vista de todo lo expuesto anteriormente, se concluye que el proyecto está alineado favorablemente con el Plan Estratégico 2018-2022 de la Universidad de Oviedo en materia docente.

## **2.2 Grado de consecución de las repercusiones esperadas del proyecto (en la docencia específica y en el entorno docente)**

Como repercusiones sobre la docencia específica, se plantearon 3 indicadores principales. En primer lugar, el porcentaje de contenidos de la asignatura que se iban a ver involucrados por la innovación se fijó en el 100%. Efectivamente, los 3 proyectos de diseño que se plantearon resolver con la herramienta Simscape pertenecen a cada uno de los tres bloques que conforman la asignatura: sistemas hidráulicos, sistemas de bombeo y sistemas de ventilación. Puesto que los tres ejercicios fueron cubiertos por los materiales generados para el proyecto, el grado de consecución ha sido del 100%.

Adicionalmente, se establecía que el porcentaje de la evaluación sobre la que incidía la innovación repercutía en el 15% de la nota final de los estudiantes, de acuerdo también a lo que se establece en la guía docente de la asignatura. Todos estos pesos se han mantenido, pudiendo asegurarse de nuevo un 100% de grado de consecución.



Universidad de Oviedo  
*Universidá d'Uviéu*  
*University of Oviedo*

El tercer indicador fijaba el porcentaje estimado de los alumnos que deberían de participar en el proyecto, y que se estableció entorno al 75%, sobre una matrícula esperada de 134 alumnos. Finalmente, la cifra de matrícula descendió significativamente hasta situarse en 115 alumnos, de los cuales únicamente 67 alumnos participaron en el programa de prácticas (en la guía docente se especifica que la participación en las prácticas es recomendable, pero en ningún caso obligatoria, y alguno convalidaban nota del curso anterior). A su vez, 27 alumnos decidieron hacer uso de la nueva herramienta de simulación, lo que supone un 40,3% respecto del número total. Por tanto, el indicador final se ha alineado más entorno a la horquilla del 50% de estudiantes participando del proyecto de innovación que del valor de 75% supuesto inicialmente. Podemos asumir, por tanto, un grado de consecución algo más reducido en este caso, rondando únicamente un 75%.

Alternativamente, como repercusiones en el entorno de la docencia, se puede destacar la buena disposición de todo el profesorado para poner en marcha el proyecto, y su colaboración para ir activando cada una de las distintas fases que componían el cronograma de tareas y actividades.

Con relación a los resultados de la experiencia, así como al estudio de los indicadores planteados, se estableció la posible publicación de los resultados en revistas de divulgación de prácticas docentes. También es posible enviar un resumen con las principales conclusiones al próximo Congreso Universitario de Innovación Educativa en Enseñanzas Técnicas (CUIEET), a celebrarse en el próximo mes de septiembre de 2020.

Por último, dado el alto grado de cumplimiento de todos los objetivos planteados inicialmente, así como el éxito de la propia actuación, se considera adecuado dar continuidad al proyecto, consolidándolo como una actividad más para el próximo curso académico.

### **3 Memoria del Proyecto**

#### **3.1 Marco Teórico del Proyecto**

El proyecto de innovación se ha desarrollado de forma no-presencial a través del Campus Virtual de la Universidad de Oviedo, vinculado al curso on-line de la asignatura de “Máquinas y Sistemas Fluidomecánicos” del Grado en Ingeniería Mecánica (GIMECA), la cual se imparte en el tercer curso durante el primer cuatrimestre. El proyecto se integra dentro de las actividades prácticas de la asignatura, como herramienta de apoyo a la realización de tres proyectos de diseño de sistemas fluidomecánicos: sistemas hidráulicos, sistema de bombeo y sistema de ventilación.

Dichas prácticas de la asignatura se dividen en dos bloques diferenciados. En el primero, que representa un 15% de la nota final, se realizan tres sesiones prácticas en el laboratorio, en las cuales se caracterizan experimentalmente las curvas características de



Universidad de Oviedo  
*Universidá d'Uviéu*  
*University of Oviedo*

diversas máquinas de fluidos. Los procedimientos y protocolos aprendidos en esas sesiones prácticas se evalúan posteriormente en una prueba/examen final de prácticas que otorga el total de esa nota.

El segundo bloque, que computa también por un 15% de la nota total de la asignatura, consiste en la realización de esos tres seminarios citados anteriormente con el objeto de diseñar tres sistemas de fluidos. El proyecto de innovación planteó mejorar este segundo bloque, dotando a los alumnos de una herramienta adicional para el diseño de sus proyectos, la cual les permita validar sus soluciones de forma autónoma a través de una sencilla contrastación de resultados.

La herramienta a incorporar es el módulo de simulación Simscape Fluids de Matlab, desarrollado en el entorno Simulink de MathWorks®. El paquete de software Matlab (Matrix Laboratory) es una potente herramienta que ya viene incorporándose como metodología de apoyo a la docencia universitaria en muchas disciplinas: modelado hidráulico [1], procesos químicos [4], electrónica e ingeniería eléctrica [3] o ingeniería mecánica [9]. Permite de forma sencilla integrar numéricamente las leyes que rigen muchos procesos físicos, de modo que puede proporcionar estudios paramétricos para soluciones ingenieriles en relativamente cortos períodos de tiempo [5, 11]. Además, gracias a su versatilidad, empieza a utilizarse en combinación con metodologías docentes innovadoras, como clases invertidas [7] o cursos on-line interactivos [12]. En el contexto de la asignatura, es posible encontrar algunas referencias en las que se han incorporado programas de simulación para la docencia como Epanet, StreamflowVL [2, 8], aunque el uso de Simulink aún no se ha publicado en la literatura abierta. Con la referencia del uso de Matlab para el estudio del flujo de fluidos en Mecánica de Fluidos [6, 10], se pretende con esta experiencia, introducir el uso del módulo Simscape para la simulación de sistemas de fluidos.

## 3.2 Metodología utilizada

### 3.2.1 Plan de Trabajo desarrollado

El plan de trabajo se ajustó adecuadamente a la secuenciación temporal fijada en la solicitud del proyecto. A continuación, se detallan cada una de las fases completadas, junto con las fechas de realización y tareas asociadas.

- 1) **Inicio del proyecto.** Reunión inicial de coordinación (20-sep). Se fijó el calendario de actuaciones y las fechas de publicación en el Campus Virtual del material para cada uno de los proyectos. También se comenzó la labor de promoción del proyecto en las clases presenciales de la asignatura.
- 2) **Elaboración del material docente para los tres proyectos** (25-sep al 10-oct). Previamente a la publicación del material, así como a su promoción y visibilidad entre el alumnado, se desarrollaron los modelos y se generó un manual de uso y ayuda de la herramienta Simscape.



Universidad de Oviedo  
*Universidá d'Uviéu*  
*University of Oviedo*

- 3) **Elaboración del material docente para el grupo bilingüe** (10-oct al 15-oct). Una vez completado el material para el proyecto, se procedió a la traducción del material para dar soporte a los alumnos del grupo bilingüe.
- 4) **Publicación de los materiales en el Campus Virtual** (10-oct). Se colgaron los materiales y guiones y se hizo llegar la información de los mismos a los estudiantes a través del Foro de Novedades del Campus Virtual. Se detallaron las normas del proyecto, la metodología a emplear y la evaluación de los proyectos.
- 5) **Proyecto nº 1.** (16-23 oct). Difusión de los datos personales de proyecto para cada alumno e inicio de plazo (típicamente 2 semanas) para la realización del proyecto.
- 6) **Proyecto nº 2.** (30 oct-6 nov). Difusión de los datos personales y apertura del período de realización del segundo proyecto. Se activó también la entrega del informe del primer proyecto a cada profesor encargado del grupo de prácticas del alumno.
- 7) **Proyecto nº 3.** (13-20 nov). Difusión de los datos personales y apertura del período de realización del tercer proyecto. Activación del plazo de entrega del informe del segundo proyecto.
- 8) **Encuesta de satisfacción.** (6-10 dic). En la sesión final de test de prácticas, los alumnos cumplieron el cuestionario de satisfacción del proyecto de innovación. También se permitió la entrega del informe final con los resultados del tercer proyecto.

### *3.2.2 Descripción de la Metodología*

La metodología adoptada se basa en el aprendizaje autónomo, no-presencial, a través de herramientas de simulación que los alumnos han de emplear utilizando material on-line generado expresamente para los proyectos. La implantación de la metodología se ha llevado a cabo en varias etapas, a saber:

- 1) **Instalación de la herramienta de simulación Simscape.** Dado que el proyecto se planteó finalmente como una actividad no presencial, los alumnos debían iniciarse en los trabajos con la instalación del módulo Simscape a partir de la licencia Campus® de Matlab, disponible en la Universidad de Oviedo.

En el mail de bienvenida al proyecto en el Campus Virtual, se proporcionan los enlaces para la descarga del instalador, así como instrucciones para completar la descarga e instalación del programa y de los modelos.

- 2) **Resolución analítica de los proyectos.** Según el calendario aprobado, y con un intervalo típico de 2-3 semanas, se estableció el período designado para la resolución progresiva de cada uno de los 3 proyectos. Los alumnos han dispuesto en el Campus Virtual de los guiones/enunciados de cada proyecto para resolverlos manualmente. En las sesiones prácticas de laboratorio se les hacía entrega de los datos parametrizados personalmente para resolver los proyectos planteados genéricamente. También se les proporcionaba las hojas de resultados que debían entregar finalmente para la evaluación de los trabajos. En la figura 1 se muestra un ejemplo de enunciado.



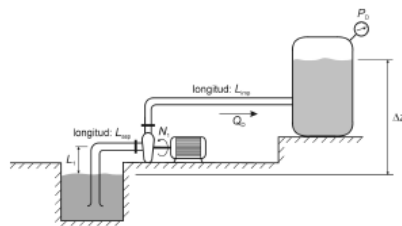


**MÁQUINAS Y SISTEMAS FLUIDOMECÁNICOS**

Titulación de Grado en Ingeniería Mecánica (GIMECA)

**OTRAS ACTIVIDADES (OA)  
 PROYECTOS DE INSTALACIONES**

**EJERCICIO 2. SISTEMA DE BOMBEO**



1. PLANTEAMIENTO Y REQUISITOS DEL CIRCUITO
2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO
3. EXPOSICIÓN DE RESULTADOS
4. HOJAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

<https://www.innova.uniovi.es/innova/campusvirtual/campusvirtual.php>

**1. PLANTEAMIENTO Y REQUISITOS DE CÁLCULO**

Se está planificando la construcción de un circuito para bombear agua desde un depósito de grandes dimensiones, abierto a la atmósfera, a un tanque presurizado, igualmente de grandes dimensiones, en el que se mantiene una presión manométrica constante  $P_0$ , tal como se muestra en la figura 1. Los datos del consumo previsto hacen necesario que la bomba suministre un caudal de  $Q_0$ . La bomba se acionará a una velocidad  $N$  de 2900 rpm. Se pide llevar a cabo un diseño de la instalación que incluya los aspectos siguientes:

1. Elección de las válvulas necesarias y de su posición en el circuito.
2. Selección del diámetro de cada tramo de tubería.
3. Estudio de la energía requerida por el fluido.
4. Estudio de las condiciones de aspiración.
5. Selección de la bomba a utilizar y cálculo de parámetros de operación.
6. Caracterización del sistema de regulación en función de que ésta se realice mediante válvula en impulsión, by-pass o accionamiento a velocidad variable.

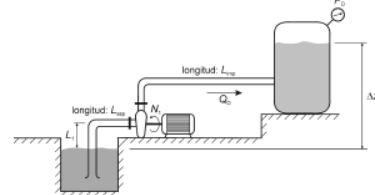


Figura 1. Proyecto de la instalación de bombeo.

Los datos del caudal  $Q_0$ , presión en el depósito  $P_0$  y longitud de impulsión  $L_{imp}$  se comunicarán a los alumnos durante el transcurso de la clase práctica. Se dispone además de los siguientes datos adicionales para realizar los cálculos:

- Diferencia de cota entre los depósitos:  $\Delta z = 6$  m
- Longitud del conducto de aspiración:  $L_{as} = 4$  m
  - Diferencia de cota entre la aspiración de la bomba y la superficie libre del depósito inferior:  $L_1 = 1,4$  m
- Densidad del agua:  $\rho = 1000$  kg/m<sup>3</sup>
- Viscosidad cinemática del agua:  $\nu = 1,15 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s
- Presión de vapor del agua:  $P_v = 1,7$  kPa
- Presión atmosférica local:  $P_{atm} = 1020$  mbar
- Rugosidad de las tuberías:  $\epsilon = 0,2$  mm

**Figura 1.** Ejemplo de enunciado del proyecto nº 2.

3) **Uso de la herramienta informática.** La tercera fase consistía en el uso de la herramienta informática Simscape, bajo entorno Simulink de Matlab, para parametrizar los modelos con los elementos que acababan de dimensionarse en los cálculos analíticos. Para ello, los alumnos disponían de unos modelos ya construidos que únicamente debían descargar del Campus Virtual para ejecutarlos en su ordenador de trabajo. Siguiendo las instrucciones de un manual/guía de usuario (también descargable), se parametrizaban según sus datos para obtener las soluciones a partir de sus datos particulares. La figura 2 muestra una captura de pantalla de los materiales disponibles en el Campus Virtual, mientras que en la figura 3 se observa el modelo generado sobre Simscape de uno de esos proyectos.

**OTRAS ACTIVIDADES (OA)**

- 📄 Guía proyecto nº 1. Prensa hidráulica
- 📄 Proyecto nº1 - Solución con SIMULINK
- 📄 Manual de uso proyecto nº1 con SIMULINK
- 📄 Guía proyecto nº 2. Sistema de bombeo
- 📄 Proyecto nº2 - Solución con SIMULINK
- 📄 Manual de uso proyecto nº2 con SIMULINK
- 📄 Guía proyecto nº 3. Sistema de ventilación
- 📄 Proyecto nº3 - Solución con SIMULINK
- 📄 Manual de uso proyecto nº3 con SIMULINK

**ADDITIONAL ACTIVITIES**

- 📄 Homework exercise #1 (Hydraulic press design)
- 📄 Hydraulic press with SIMULINK - Model
- 📄 Hydraulic press with SIMULINK - Basic Instructions
- 📄 Homework exercise #2 (Pumping circuit design)
- 📄 Homework exercise #2. Pumps technical data.
- 📄 Pumping circuit with SIMULINK - Model
- 📄 Pumping circuit with SIMULINK - Basic Instructions
- 📄 Homework exercise #3 (Fan circuit design)
- 📄 Ventilation system with SIMULINK - Model
- 📄 Ventilation system with SIMULINK - Basic Instructions

**Figura 2.** Capturas de pantalla con los materiales de trabajo (versión en español, izquierda y en inglés, derecha)





La resolución numérica de estos modelos permitía chequear si las soluciones calculadas previamente por los alumnos de forma analítica quedaban validadas por los valores dados por el programa.

4) **Elaboración de los informes de resultados** de cada proyecto, incorporando capturas de pantalla y resultados obtenidos. Al final de cada guion descriptivo para cada uno de los proyectos, se añadían hojas de entrega donde se debían proporcionar las soluciones y capturas de pantalla de los modelos y de las evoluciones de las variables de simulación. En la figura 4 se muestra un ejemplo de hoja de resultados de uno de los proyectos.

5) La **corrección de los trabajos** de acuerdo a los baremos de corrección establecidos, completaba el procedimiento metodológico.

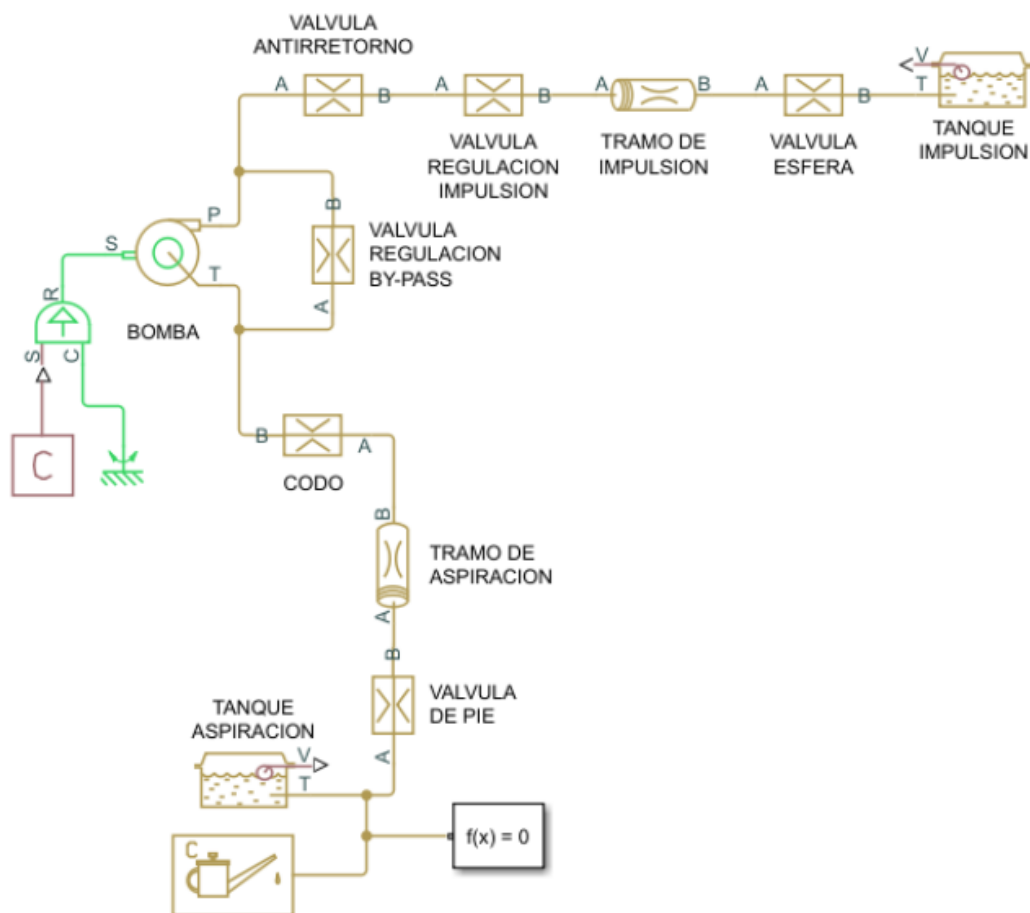


Figura 3. Modelo en Simscape (entorno Simulink de Matlab) del proyecto nº2.



### 3. EXPOSICIÓN DE RESULTADOS

NOMBRE Y APELLIDOS:

#### DATOS DE PARTIDA:

Nº solución	$Q_0$ [m³/h]	$P_0$ [kPa]	$L_{res}$ [m]

#### 2.1. Elección y disposición de válvulas en el circuito

Dibuje esquemáticamente la instalación e indique la posición de cada válvula.

#### 2.2. Selección del diámetro de los conductos

TRAMO	$D^*$ [mm]	Paso nominal	$D$ [mm]
Aspiración			
Impulsión			

#### 2.3. Estudio de la energía requerida por el fluido

TRAMO	Re	$f$	$h_f$ [m]	$h_{fs}$ [m]
Aspiración				
Impulsión				
$\Sigma$				

Energía mínima	$K_0$ [m]	$\Sigma h_f$ [m]	$\Sigma h_{fs}$ [m]	
$H_{0, min}$ [m]				-

#### 2.4. Estudio de las condiciones de aspiración

NPSH<sub>0</sub> [m]:

#### 2.5. Selección de la bomba y cálculo de parámetros de operación

GAMA	$\phi$ Rodete [mm]	$H_b$ [m]	$P_b$ [KW]	$\eta$ [%] (ec. 12)	NPSH <sub>0b</sub> [m]

#### 2.6. Caracterización del sistema de regulación

Regulación serie:

$H_b - H_{0, min}$ [m]	$\xi$

Regulación en by-pass:

$Q_b$ [m³/h]	$Q_1 - Q_0$ [m³/h]	$\xi$

Regulación por velocidad de accionamiento:

$k$ [m/(m³/h)²]	$Q'$ [m³/h]	$N_b$ [rpm]

Figura 4. Ejemplo de hojas de resultados del proyecto nº2.



### 3.3 Resultados alcanzados

**3.3.1 Valoración de indicadores detallando los instrumentos utilizados para recoger la información, se valora la inclusión de tablas o figuras que faciliten la comprensión de lo expuesto. Al menos un indicador se vinculará con el grado de satisfacción del alumnado que participe en el proyecto.**

Se han definido cuatro indicadores para valorar el impacto del proyecto de innovación sobre los objetivos marcados inicialmente. La tabla resumen adjunta recoge esos indicadores con los rangos fijados (que se han modificado levemente respecto a los aportados en la solicitud) y con los valores obtenidos en la evaluación final del proyecto. A continuación, se detallan cada uno de esos resultados.

**Tabla resumen (a incluir obligatoriamente)**

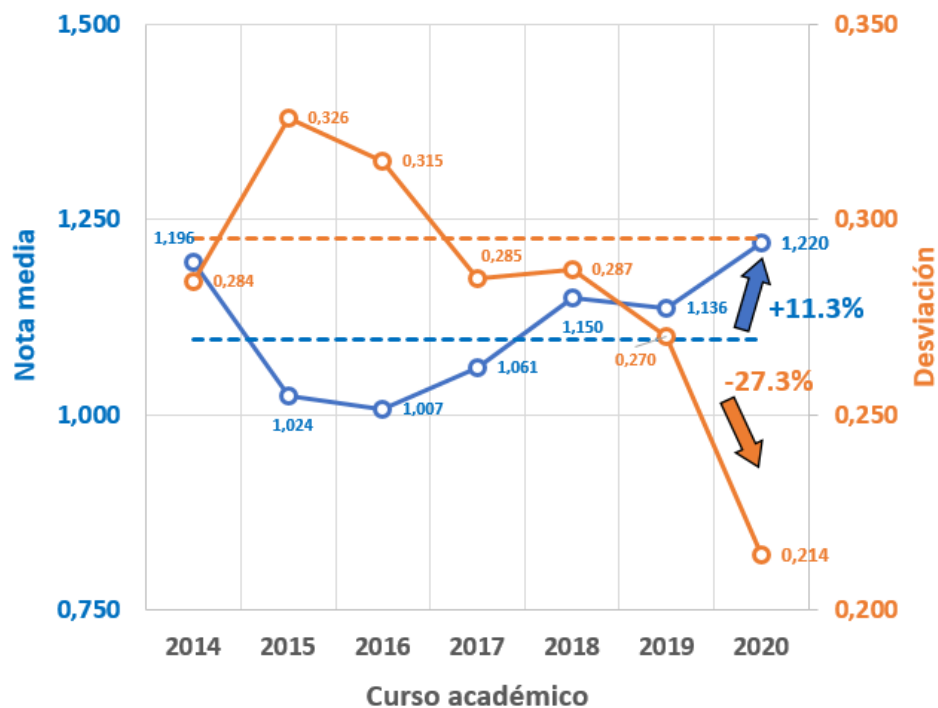
Nº	Indicador	Modo de evaluación	Rangos fijados	Rangos obtenidos
1	Valoración del incremento en la nota media de la actividad evaluada.	Se tomará como indicador el aumento (promedio) en la nota global de la actividad de los alumnos.	<-0.2 pts (sobre 1.5): Impacto muy negativo <-0.1 pts (sobre 1.5): Impacto negativo >-0.1 y <0.1 pts (sobre 1.5): Sin impacto >0.1 pts (sobre 1.5): Impacto positivo >0.2 pts (sobre 1.5): Impacto muy positivo	<b>+0.200</b> <b>Impacto muy positivo (+18.3% de mejora)</b>
2	Valoración de la reducción en el grado de heterogeneidad de la nota de la actividad evaluada	Se tomará como indicador la reducción (promedio) en la dispersión de la nota global de la actividad de los alumnos	<-0.05 pts (sobre 1.5): Impacto muy positivo <-0.025 pts (sobre 1.5): Impacto positivo >-0.025 y <0.025 pts (sobre 1.5): Sin impacto >0.025 pts (sobre 1.5): Impacto negativo >0.05 pts (sobre 1.5): Impacto muy negativo	<b>-0.075</b> <b>Impacto muy positivo (-25.3% de reducción)</b>
3	Valoración de las encuestas de satisfacción del alumnado sobre el desarrollo de este proyecto	Se tomará como indicador el resultado de las encuestas realizadas en la EGEred para el apartado de prácticas, en escala numérica de 0 a 10	0-20: Satisfacción muy mala 20-40: Satisfacción mala 40-60: Satisfacción aceptable 60-80: Satisfacción buena 80-100: Satisfacción muy buena	<b>89% (Muy Buena)</b>
4	Grado de conocimiento adquirido por los alumnos en el uso de la herramienta de simulación	Se tomará como indicador las notas obtenidas por los alumnos en la simulación de cada uno de los proyectos	>1.25 pts: Muy bueno >1.00 pts: Bueno >0.75 pts: Aceptable >0.50 pts: Malo <0.50 pts: Muy malo	<b>1.22 - 1.29</b> <b>(Muy bueno)</b>

#### **Indicadores de rendimiento académico**

Como primer indicador (**IND1**) se planteó el incremento de la nota media de la actividad evaluada (diseño de proyectos) con respecto a la nota de esas actividades en años precedentes. Esta actividad se lleva realizando desde la implantación de la asignatura en los nuevos planes de estudio de grado en ingeniería mecánica, desde el curso académico



2013/14, y siempre se ha venido puntuando sobre un total de 1.5 puntos de la nota final del curso. Se disponen de todos los datos de notas obtenidas por los alumnos durante los últimos 6 años, que se han procesado para comparar con los mismos valores del año académico actual. En concreto, se ha calculado la nota media obtenida por el alumnado en esta actividad en cada año académico, así como el valor típico de la dispersión de dichas notas. Precisamente, esa dispersión de notas se ha fijado en el proyecto como segundo indicador (**IND2**). Finalmente, para dar al resultado una mayor generalidad, se ha comparado el valor del año actual con los valores medios de años precedentes. La figura 5 grafica todos esos resultados.



**Figura 5.** Evolución de la nota media y la dispersión en la evaluación de la actividad a lo largo de los distintos cursos académicos.

Además, en la tabla 1 adjunta, se muestran los valores de comparación de la figura 5, y se desglosan los resultados del curso académico actual para aquellos alumnos que utilizaron la herramienta Simscape de aquellos que no la utilizaron. Como resultados más destacados se observa que:

- La nota media en la actividad se ha incrementado desde un valor medio de 1,096 en el período 2014-2019 a un valor medio de 1,220 en el curso actual 2019/2020, lo cual supone una mejora de +0.124 pts sobre 1.5, esto es, un incremento del 11.8%. Si se consideran las notas de los alumnos que utilizaron la herramienta informática la mejora



aumenta hasta un valor medio de 1,296; esto es, **+0.200 pts para un incremento del 18.3%. Según los baremos fijados, podemos concluir que el impacto ha sido muy positivo.**

- De forma análoga, se observa una reducción en la dispersión de las notas, desde un valor medio de los cursos 2014 a 2019 de 0,295 hasta un valor de 0,214 en el actual curso 2019/2020. Esto implica una reducción de -0.081 putos, que en términos porcentuales equivale a una muy significativa rebaja del 27.3%. La reducción es algo menor si se compara con los datos del grupo de alumnos usuarios de Simscape: **-0.075 para llegar a 0,220; lo que supone una caída del 25.3%.**
- Para hacer esa diferenciación entre alumnos usuarios de Simscape de los que no lo fueron, se analizaron los informes entregados por los alumnos, contabilizando aquellos en los que se mostraron capturas de pantalla y evidencias de que sí habían implementado sus datos en los modelos genéricos. Nótese que este año se ha producido un muy significativo descenso en el número de alumnos en el curso (74) respecto del número medio de alumnos que otros años participaron en estas actividades de evaluación (112). Ha de tenerse en cuenta, además, que en la asignatura se tiene un mayor número de matriculados, pero un buen número de ellos la cursan en el extranjero a través de becas erasmus. De los 74 alumnos que se han examinado de la asignatura, 7 convalidaron la nota del año anterior, y de los 67 restantes, 27 realizaron las actividades con apoyo de Simscape (40,3%) mientras que el resto optó por no utilizarlo como herramienta formativa.
- También es interesante aportar un dato complementario muy revelador. La nota media del curso en su convocatoria ordinaria se elevó respecto del valor medio de 4,68 de los años precedentes hasta un excelente 5,02; lo que supone casi medio punto de mejora. De hecho, se ha observado que las tasas de éxito de la convocatoria de enero son mucho más elevadas en el grupo de alumnos que hicieron uso de la herramienta informática que aquellos que no la emplearon. Esos datos se observan también en la tabla 2. Se observa, de forma general, un incremento de más de 1 punto en la nota final del curso (de 4,67 a 5,79) entre los alumnos que usaron Simscape de aquellos que no lo usaron (tabla 1), así como un incremento en la tasa de éxito desde el 46% hasta el 62,5%.

**Tabla 1.** Evolución de los resultados para los indicadores IND01, IND02 e IND04.

	<b>Nota media (máx. 1.5) IND01/IND04</b>	<b>Desviación estándar IND02</b>	<b>Nota curso (máx. 10)</b>	<b>Núm. Alumnos</b>
Media cursos 2014-2019	1,096	0,295	4,68	112
Curso académico 2019/2020	1,220 (+0,124)	0,214 (-0.081)	5,02	74
Curso académico 2019/2020 – Usuarios Simscape	1,296 (+0,200)	0,220 (-0.075)	5,79	27
Curso académico 2019/2020 – No usuarios Simscape	1,190	0,207	4,67	40

**Tabla 2.** Comparativa del rendimiento académico de los alumnos en función del uso de Simscape durante su proceso formativo.



	Curso 2019/2020 TOTAL (Todo el grupo)	Curso 2019/2020 SUBGRUPO (usuarios Simscape)
Número de alumnos	74	27
Número de presentados (conv. Enero)	50	16
Número de no presentados (conv. Enero)	24	11
Número de aprobados (conv. Enero)	23	10
Porcentaje de presentados (conv. Enero)	67,5 %	59,2 %
<b>Tasa de Rendimiento</b> (aprobados/alumnos)	<b>31,1 %</b>	<b>37,0 %</b>
<b>Tasa de Éxito</b> (aprobados/presentados)	<b>46,0 %</b>	<b>62,5 %</b>

- Finalmente, de la tabla 1 anterior, se escoja bien el valor global de nota media de 1,220 o bien el valor mejorado de los usuarios de Simscape (1,296), es evidente que la nota sigue estando en una horquilla que permite asegurar que el alumnado tiene un grado de conocimiento suficiente de las actividades propuestas. En particular, atendiendo a los baremos propuestos, ese salto en la nota supone un grado de conocimiento bueno, siendo incluso calificable de muy bueno, ya que los valores se sitúan en la parte óptima de los tramos generados. Esta última consideración responde a lo fijado en la solicitud como indicador número 4 (**IND04**).

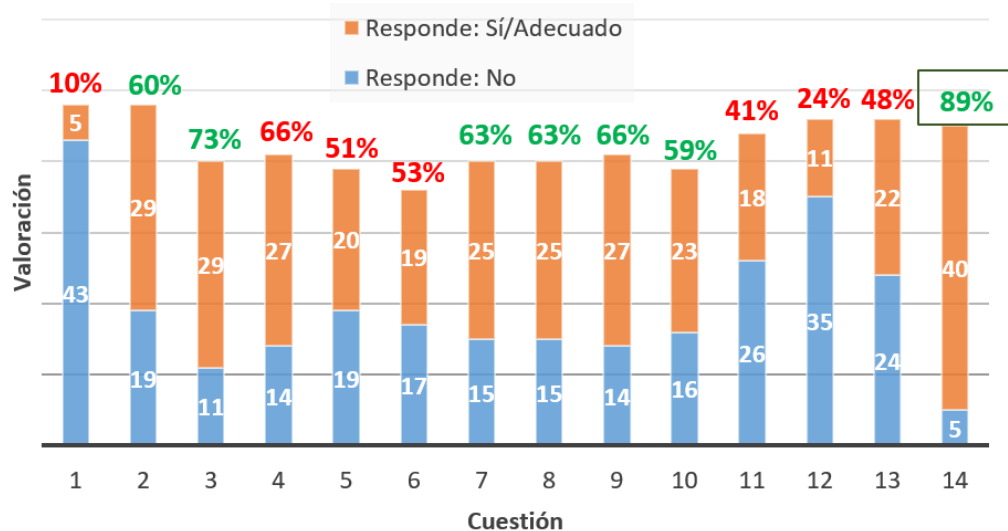
### **Indicadores de satisfacción de los alumnos**

Al finalizar las actividades, se hizo una encuesta presencial, por escrito, anónima y voluntaria para valorar el nivel de satisfacción general del alumnado en relación a las actividades realizadas (indicador **IND3**). Se plantearon las siguientes preguntas:

1. <i>¿Conocía la capacidad de Matlab para simular circuitos hidráulicos?</i>
2. <i>¿Considera adecuada la dificultad para implementar los circuitos hidráulicos en Matlab?</i>
3. <i>¿El material proporcionado para simular con Matlab los circuitos hidráulicos propuestos ha sido útil?</i>
4. <i>¿Ha tenido problemas para simular el circuito de la prensa hidráulica?</i>
5. <i>¿Ha tenido problemas para simular el circuito del sistema de bombeo?</i>
6. <i>¿Ha tenido problemas para simular el circuito del sistema de ventilación?</i>
7. <i>¿La dificultad de los circuitos le ha parecido que es similar en los tres casos?</i>
8. <i>¿Las simulaciones de los circuitos hidráulicos le han servido para entender mejor su funcionamiento?</i>
9. <i>¿El tiempo que ha dedicado considera que le ha resultado beneficioso?</i>
10. <i>En un futuro, ¿Se plantearía volver a usar Matlab para simular circuitos hidráulicos?</i>
11. <i>En su opinión, ¿Esta actividad debería de haber sido presencial?</i>
12. <i>En su opinión, ¿Esta actividad debería de haber sido obligatoria?</i>
13. <i>¿Las actividades propuestas deberían de haber tenido un impacto mayor en la nota de las prácticas?</i>
<b>14. ¿Su valoración general de las actividades es positiva?</b>



### Simulaciones de Instalaciones con Matlab Simscape Fluids



**Figura 6.** Resultados de la encuesta de satisfacción.

En la figura 6 se muestra el análisis de los resultados. La pregunta #1 analiza el grado de conocimiento previo de los alumnos sobre la capacidad de Matlab para simular sistemas de fluidos. Únicamente el 10% del alumnado era consciente de sus capacidades.

Las preguntas #2 y #3 valoran la percepción de la dificultad de la actividad propuesta y la utilidad del material proporcionado. El 60% de los alumnos consideró adecuado el nivel de las actividades y un 73% valoró positivamente el material preparado por el profesorado.

Las preguntas #4, #5 y #6 analizan la complejidad de resolver cada uno de los casos. En todos los casos han encontrado dificultades, siendo el proyecto más problemático el primero de ellos (66%).

Las preguntas #7 a #10 valoran si consideran que el trabajo y el tiempo invertido han sido útiles, ayudándoles a comprender mejor los diversos circuitos. En todas ellas, se responde positivamente, con un nivel de satisfacción cercano al 66%.

Por último, las preguntas #11 a #13 preguntan acerca de la evaluación de la actividad, interesándose por su opinión de cómo deberían valorarse (obligatoriedad, nota, etc). En general, son reacios a darle mucho peso en la nota y a convertir la actividad en algo presencial y obligatorio (sólo un 24% opina que sería adecuado resolverlas presencialmente).

Finalmente, como valoración general, la impresión final es muy positiva, con un **89% de satisfacción global entre los encuestados** (40 de 45 respuestas).





**3.3.2 Observaciones más importantes sobre la experiencia relacionando los resultados con los objetivos del proyecto evitando afirmaciones que no estén fundamentadas en lo realizado, redundancias o reiteraciones.**

El uso de la herramienta Simscape, como complemento de validación y comprobación de los diseños de proyectos planteados ha tenido una acogida favorable. Los alumnos no ven necesaria hacerla obligatoria en cursos venideros, pero sí consideran que merece la pena utilizarla como refuerzo de los conceptos aprendidos.

Además, los indicadores de rendimiento demuestran que ha tenido un impacto muy positivo en las mejoras de las notas obtenidas por los alumnos en las actividades, aumentando el valor medio y reduciendo la dispersión. Adicionalmente, todo esto ha tenido un reflejo en la nota final del curso, lo cual refuerza la impresión de que su uso permite una mejor comprensión de los conceptos y un mejor desempeño en la resolución de problemas, tanto a nivel práctico como a nivel teórico.

El material generado ha sido valorado adecuadamente, y ha permitido que los alumnos exploten un recurso on-line disponible para toda la comunidad universitaria (licencia campus de Matlab/Simulink con Simscape), dando uso y promoción a una herramienta de gran utilidad en el desarrollo competencial de los futuros graduados y graduadas. Esto se valora muy positivamente por cuando se alinea claramente dentro de las líneas estratégicas de la Universidad en su plan 2018-2022 para actividades docentes.

En conjunto, el nivel de satisfacción de los alumnos con el proyecto ha sido muy alto, alcanzando una tasa final del 89%.

**3.3.3 Información online, publicaciones o materiales en abierto derivados de los resultados del proyecto (se valorará especialmente que se proporcionen los enlaces a los mismos)**

Se añaden a continuación los enlaces (hipervínculos) a todos los materiales generados para la realización del proyecto de innovación. Todos ellos se encuentran en los distintos módulos de la asignatura en el Campus Virtual, T\_S,A\_(GIMECA01-3-003,MINGINDU-C-011,IIMECA01-1-002), para su consulta:

**Material docente elaborado para los grupos en español:**

1. Prensa hidráulica  
[Proyecto nº1 - Solución con SIMULINK](#)  
[Manual de uso proyecto nº1 con SIMULINK](#)
2. Sistema de bombeo  
[Proyecto nº2 - Solución con SIMULINK](#)  
[Manual de uso proyecto nº2 con SIMULINK](#)
3. Sistema de ventilación  
[Proyecto nº3 - Solución con SIMULINK](#)  
[Manual de uso proyecto nº3 con SIMULINK](#)



Universidad de Oviedo  
*Universidá d'Uviéu*  
*University of Oviedo*

**Material docente elaborado para los grupos bilingües:**

1. Hydraulic press design  
[Hydraulic press with SIMULINK - Model](#)  
[Hydraulic press with SIMULINK - Basic Instructions](#)
2. Pumping circuit design  
[Homework exercise #2. Pumps technical data.](#)  
[Pumping circuit with SIMULINK - Model](#)  
[Pumping circuit with SIMULINK - Basic Instructions](#)
3. Fan circuit design  
[Ventilation system with SIMULINK - Model](#)  
[Ventilation system with SIMULINK - Basic Instructions](#)

**3.4 Conclusiones, discusión y valoración global del proyecto.** Se destacarán los puntos fuertes y débiles del proyecto contrastándolas con los resultados de otros estudios referenciados en el apartado 3.1 sin reiterar los datos ya comentados en otros apartados.

El proyecto de innovación PINN-19-A-006 se ha completado satisfactoriamente, alcanzando sobradamente el cumplimiento de todos los objetivos marcados al inicio de la actividad. Se ha conseguido desarrollar una actividad de aprendizaje significativo, alineada a su vez con los objetivos estratégicos de la Universidad en materia de mejora de la calidad docente, y que ha permitido dotar a los alumnos de las herramientas precisas para adquirir nuevas competencias profesionales en el ámbito de la Ingeniería. Además, la satisfacción del alumnado ha sido muy alta, respaldada por unos buenos datos de rendimiento académico, lo cual permite calificar a esta experiencia como un éxito. Complementariamente, el grado de coordinación entre profesores ha sido óptimo y el uso de recursos corporativos también ha sido optimizado. Incluso las herramientas metodológicas empleadas abren todo un campo de posibilidades para que los alumnos en un futuro puedan explorar sus potencialidades y uso en su desempeño profesional. Todo esto componen los puntos fuertes del proyecto.

Como puntos débiles cabe citar la relativamente baja participación (al haber optado por la voluntariedad de uso de la herramienta entre el alumnado), la percepción de algunos estudiantes de una excesiva dificultad en las temáticas tratadas, así como en la aparatosidad en el uso de los materiales proporcionados. Todos estos aspectos deberán ser mejorados para próximos cursos académicos. Del mismo modo, el tema de la presencialidad en este tipo de actividades se deberá valorar para próximas ediciones, la cual podría incorporarse debido a la progresiva reducción en el número de alumnos matriculados.

En cualquier caso, la experiencia ha sido muy positiva, y los datos recabados muy interesantes, por lo que se plantea compartir los resultados con el resto de la comunidad educativa universitaria. De esta forma, se plantea en el corto plazo la preparación de una comunicación científica sobre el empleo de estas herramientas en la docencia, en la línea



de los trabajos revisados en el estado del arte, pero aportando la experiencia de uso de modelo Simscape, del que no se han encontrado referencias aún en la literatura abierta.

## 4 Bibliografía

- [1] Almoulki, T. (2019). MATLAB for Iteration: Hydraulic modeling for environmental engineering students. *Fluid Mechanics Research International Journal*, 5.
- [2] Coelho, B., & Andrade-Campos, A. (2017). Numerical tool for hydraulic modelling – An educational approach. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 45(3), 260-285. <https://doi.org/10.1177/0306419017708637>.
- [3] Durán, M. J., Gallardo, S., Toral, S. L., Martínez-Torres, R., & Barrero, F. J. (2007). A learning methodology using Matlab/Simulink for undergraduate electrical engineering courses attending to learner satisfaction outcomes. *International Journal of Technology and Design Education*, 17(1), 55-73. <https://doi.org/10.1007/s10798-006-9007-z>
- [4] García, J., García, R., García, E., Aparicio, A. L., Martínez, J. L., & Cocero, M. J. (2005). MATLAB: A Powerful Tool for Experimental Design in Chemical Engineering. *Int. J. Engng*, Vol. 21, No. 4, 676 -682.
- [5] Ibrahim, D. (2011). Engineering simulation with MATLAB: Improving teaching and learning effectiveness. *Procedia Computer Science*, 3, 853-858. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2010.12.140>.
- [6] Kassem, Y., Çamur, H., & Alhuoti, S. M. A. (2019). MATLAB Simulator can support student learning for Fluid Mechanics courses in the Mechanical Engineering Department. *International Journal of Engineering Research and Technology*. 12(7), 13.
- [7] Li, X., & Huang, Z. (Jacky). (2017). An inverted classroom approach to educate MATLAB in chemical process control. *Education for Chemical Engineers*, 19, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2016.08.001>.
- [8] Mirauda, D., Capece, N., & Erra, U. (2019). StreamflowVL: A Virtual Fieldwork Laboratory that Supports Traditional Hydraulics Engineering Learning. *Applied Sciences*, 9(22), 4972. <https://doi.org/10.3390/app9224972>.
- [9] Vechet, S., & Krejsa, J. (2009). Hydraulic Arm Modeling Via Matlab Simhydraulics. *Engineering MECHANICS*, Vol. 16, No. 4, p. 287–296.
- [10] Vicéns, J. L., & Zamora, B. (2014). A teaching-learning method based on CFD assisted with matlab programming for hydraulic machinery courses: A TEACHING-LEARNING METHOD BASED ON CFD. *Computer Applications in Engineering Education*, 22(4), 630-638. <https://doi.org/10.1002/cae.21554>.
- [11] Vicéns, José L., Zamora, B., & Ojados, D. (2016). Improvement of the reflective learning in engineering education using MATLAB for problems solving: IMPROVEMENT OF REFLECTIVE



Universidad de Oviedo  
*Universidá d'Uviéu*  
*University of Oviedo*

LEARNING USING MATLAB. *Computer Applications in Engineering Education*, 24(5), 755-764.  
<https://doi.org/10.1002/cae.21748>.

[12] Warren, C. (2014). MATLAB for Engineers: Development of an Online, Interactive, Self-study Course. *Engineering Education*, 9(1), 86-93. <https://doi.org/10.11120/ened.2014.00026>.