

Mejora del proceso enseñanza-aprendizaje en laboratorios de ingeniería masificados

Improvement of the teaching-learning process in overcrowded engineering laboratories

Ricardo Castedo¹, José M. Gómez¹, Ángel Prado¹, Lina M. López¹, Anastasio P. Santos¹, José J. Ortega¹, Marta Fernández-Hernández¹, María Chiquito¹, José E. Ortiz¹, Elisa Costamagna²
ricardo.castedo@upm.es, josemaria.gomez@upm.es, a.pradom@alumnos.upm.es, lina.lopez@upm.es, tasio.santos@upm.es, josejoaquin.ortega@upm.es, marta.fernandezh@upm.es, maria.chiquito@upm.es, joseeugenio.ortiz@upm.es, elisa.costamagna@polito.it.

¹Departamento de Ingeniería Geológica y Minera

Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, España

²Department of Environment, Land and

Infrastructure Engineering (DIATI)
Politecnico di Torino
Turín, Italia

Resumen- Este trabajo describe una metodología de enseñanza de laboratorio para estudiantes universitarios que utiliza tecnologías digitales y aplicaciones de software (Matlab). Los estudiantes tienen acceso en Moodle a un guion de cada práctica, así como a un video explicativo y preguntas insertadas en el mismo con H5P. Luego asisten a una sesión de laboratorio presencial en grupos reducidos, registrando los datos correspondientes. Posteriormente y mediante una aplicación de Matlab desarrollada "ad-hoc" el alumno genera su informe de prácticas y lo entrega vía Moodle. Los resultados son bastante buenos pues los alumnos mejoran sistemáticamente sus notas del laboratorio. Además, sus apreciaciones en base a encuestas son excelentes con notas en torno al 4,5 sobre 5. La metodología busca reducir el trabajo repetitivo y enfocar en el razonamiento y comprensión completa del problema.

Palabras clave: *Competencias transversales, aprender a aprender, digitalización.*

Abstract- This paper describes a laboratory teaching methodology for undergraduate students using digital technologies and software applications (Matlab). Students have access in Moodle to a script of each practical, as well as to an explanatory video and questions embedded in it with H5P. They then attend a face-to-face laboratory session in small groups, recording the corresponding data. Subsequently and through a Matlab application developed "ad-hoc", the student generates his practice report and delivers it via Moodle. The results are quite good as the students systematically improve their laboratory grades. In addition, their evaluations based on surveys are excellent with grades around 4.5 out of 5. The methodology seeks to reduce repetitive work and focus on reasoning and complete understanding of the problem.

Keywords: *Cross-cutting competencies, learning to learn, digitization.*

1. INTRODUCCIÓN

Es aceptado que las prácticas en laboratorio son una parte fundamental de la enseñanza en las ciencias aplicadas y la ingeniería (por ejemplo: mecánica de fluidos, transferencia de

calor, electrónica, etc.). Sin embargo, es cierto que muchas prácticas en laboratorio se han realizado de manera similar durante años, lo que puede limitar la capacidad de los estudiantes para aprender de manera efectiva. La falta de innovación en la preparación de las prácticas y en la entrega de resultados, puede hacer que esta actividad sea menos atractiva y motivadora para los estudiantes, y puede limitar su capacidad para desarrollar habilidades y conocimientos relevantes.

Por otro lado, es cierto que el uso cada vez más común y cotidiano de la tecnología en la vida diaria, derive de manera natural, en su incorporación en la docencia de laboratorios STEM (acrónimo inglés referido a ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas). Algunos docentes han optado por incorporar tecnologías punteras en la preparación de las prácticas, como el uso de simulaciones, realidad virtual, realidad aumentada o gemelos digitales (Benito Oterino *et al.*, 2019; Deniz *et al.*, 2022). En lugar de realizar prácticas en laboratorios físicos, se pueden utilizar simulaciones y programas de realidad virtual para crear experiencias educativas similares a las prácticas en laboratorio. Este tipo de prácticas se han empleado fundamentalmente en materias donde el trabajo y la coordinación mano-ojo no es fundamental como, por ejemplo, programación, electrónica o electrotecnia, ingeniería de control, ... (Quizhpi y Guillén, 2022). Otros docentes han demostrado que los videos pueden ser útiles para demostrar la forma en que se lleva a cabo una práctica en el laboratorio y para mostrar a los estudiantes cómo interpretar los resultados (Ahmari y Kabir, 2019). También el uso de aplicaciones y simulaciones diseñadas *ad hoc* pueden permitir a los estudiantes llevar a cabo experimentos virtuales, lo que les da la oportunidad de explorar diferentes escenarios y observar los resultados de manera segura y efectiva.

La mayor parte de las actuaciones de mejora se realizan en las actividades prelaboratorio o la sustitución del propio laboratorio in-situ. Sin embargo, hay poca incorporación o desarrollo de herramientas tecnológicas en la entrega de resultados (al menos los autores no han encontrado nada

publicado al respecto). Por ejemplo, en lugar de utilizar los clásicos estadillos en papel, se pueden emplear hojas de cálculo, programas de análisis de datos o aprendizaje basado en proyectos pueden simplificar el análisis de los resultados de la práctica, permitiendo a los estudiantes comprender y comunicar los resultados de manera más efectiva.

El objetivo de este artículo es presentar una metodología de trabajo pensada, desarrollada e implementada con éxito en los laboratorios de dos asignaturas de ingeniería de segundo curso con más de 150 alumnos cada una. Para ello, y siempre respetando las prácticas in situ, se ha mejorado y ampliado la información pre-laboratorio (incluyendo videos y manuales de prácticas), la información durante la práctica de laboratorio (uso de pósters), y finalmente los esfuerzos se han centrado en la entrega de resultados (desarrollo de aplicaciones de Matlab).

2. CONTEXTO Y DESCRIPCIÓN

Los laboratorios de las asignaturas objeto de esta investigación han sido tres: Mecánica de Fluidos e Hidráulica (titulación del Grado de Ingeniería de la Energía - GIE); Mecánica de Fluidos (titulación que engloba distintos Grados de Ingeniería - MG); Transferencia de Calor y Materia (GIE). Todas ellas se imparten en la ETSI Minas y Energía de la Universidad Politécnica de Madrid. Las tres materias constan de 6 créditos ECTS, son de carácter obligatorio, y se imparten en el segundo curso y semestre.

Los laboratorios de las dos asignaturas de fluidos son los mismos. Ambas, constan de dos sesiones de una hora y en cada sesión se realizan dos prácticas. La primera sesión incluye fuerzas hidrostáticas y experimento de Reynolds; mientras que en la segunda se trabajan las pérdidas de carga y las curvas características de bombas centrífugas. La metodología que aquí se presenta se implantó desde el curso 20/21 y sigue actualmente. El número de alumnos matriculados durante el curso 2020/21 en la asignatura de Mecánica de Fluidos e Hidráulica fue de 184, y de 78 para Mecánica de Fluidos. Cada titulación tiene dos grupos y, por tanto, se hizo un grupo de control donde no se aplicó la metodología aquí desarrollada. El curso siguiente (21/22) GIE tenía 111 y MG 62 matriculados. En el curso actual (22/23) se tienen 192 matriculados en GIE y 87 en MG. Desde el curso 21/22 ya no hay grupos de control y todos los alumnos tienen el mismo material disponible.

En Transferencia de Calor y Materia se tiene una sesión de una hora donde se realizan dos prácticas: medida de la conductividad térmica y medidas de diferencia de temperatura en cristales de rotura de puente térmico. El laboratorio se desarrolló (directamente con esta metodología) comenzando el curso 2021/22 y se dejó a los alumnos cursarlo de manera voluntaria, por tanto, no hay grupos de control con los que contrastar los resultados. El número de alumnos que lo cursaron fue de 64, mientras que había 124 matriculados. Desde el curso 2022/23 ya está incluido el laboratorio en la guía de la asignatura y, por tanto, tiene un carácter obligatorio para todos los alumnos. El número de alumnos matriculados durante el curso (22/23) es de 197.

Los alumnos desde el espacio web de cada asignatura involucrada en Moodle acceden a una sección que llamamos laboratorio. Lo primero que ve el alumno para cada una de las prácticas es el guion correspondiente. Dicho guion detalla equipos, metodología, fundamentos teóricos, datos a medir, a calcular, ... descripciones realizadas con un lenguaje lo más

cercano posible, con esquemas y despieces de los equipos a manejar, siguiendo la idea sugerida en experiencias previas para la adaptación de materiales “clásicos” al estudiante “moderno” (Ahmari y Kabir, 2019). A continuación, el alumno accede a un video subido a un YouTube de la asignatura para cada práctica. El video tiene una duración corta (entre tres y cinco minutos) donde se explica en qué consiste la práctica que van a realizar, qué datos van a tomar y qué deben traer al laboratorio. Sobre cada video y empleando la tecnología H5P los alumnos tienen que contestar a una o varias preguntas dentro del video, y al final de este, enviar las respuestas correspondientes. El alumno que no haya visto el video y contestado a las respuestas, no puede entrar en la sesión presencial del laboratorio.

Cada alumno asiste de manera presencial al laboratorio en grupos de entre 8 y 12 estudiantes, a la sesión correspondiente (día y hora) asignada por el profesor. La sesión de laboratorio comienza por una breve explicación del profesor de no más de 5 minutos. Además, los alumnos tienen a su disposición un póster (tamaño A1) resumen con los datos más importantes de la práctica o relaciones de lo calculado con la vida real. Después de esta breve introducción, los alumnos comienzan el trabajo de laboratorio en grupos más reducidos, siempre que el equipo esté duplicado. En cada práctica deberán realizar las tareas necesarias, y registrar los datos fundamentales para la resolución de la aplicación que sustituye al tradicional estadillo de prácticas (ver Figura 1 para detalles del flujo de trabajo). Se ha fijado como premisa que las nuevas entregas deben restar, en la medida de lo posible, el trabajo repetitivo de cálculo que arrastraban las entregas clásicas hasta ahora. Se trata de reenfocar hacia un razonamiento y entendimiento completo, y muchas veces visual del problema. Siempre intentando mantener una carga de trabajo similar a la que suponían las entregas en papel.

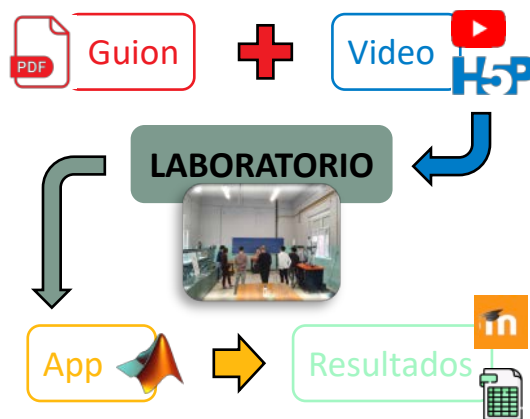


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología a seguir por el alumno en las sesiones de laboratorio.

Después de la finalización de la sesión presencial el alumno dispone de una semana para entregar los resultados de su informe. El alumno debe descargarse de Moodle una aplicación de Matlab desarrollada mediante la herramienta “Matlab App Designer” (Mathworks, 2023). El lector que desee implementar esta metodología y conozca otro lenguaje puede emplearlo sin perjuicio de los resultados. Aquí se ha empleado lenguaje Matlab debido a que es un entorno de desarrollo intuitivo y sencillo, y se emplea en varias asignaturas a lo largo de los grados en esta Escuela. Así los alumnos pueden descubrir nuevas herramientas y sus usos dentro de este lenguaje que no les resulta ajeno. Cada práctica realizada tiene infinidad de posibilidades, algunas implementadas, y otras por desarrollar,

en función de las necesidades y el objetivo marcado. Aquí se explica solo una a modo de ejemplo (ver Figura 2). En la primera pantalla se solicitan datos de identificación del alumno; en la segunda, se explica brevemente el juego; en la tercera el alumno debe introducir los datos medidos en los cristales del laboratorio; en la cuarta, el alumno debe decidir qué factor pesa más en la elección de una ventana el porcentaje de luz o ahorro; en la quinta, se dan algunos consejos para superar el juego; en la sexta, es el juego propiamente dicho donde el alumno debe regular la altura y el espaciamiento del cristal para alcanzar la felicidad en base a la luz que entra y el ahorro en la factura; en la séptima, el alumno debe responder unas preguntas de razonamiento sobre actividades en el laboratorio; y en la octava, se dan instrucciones sobre el envío del fichero generado durante el uso de la aplicación.



Figura 2. Pantallazos de todas las ventanas de la aplicación de medida de sistemas de temperatura de la asignatura de Transferencia de Calor y Materia.

El fichero generado por la aplicación es una hoja de cálculo codificada con las respuestas de cada alumno, su DNI, su nombre y apellidos y un número identificativo generado sobre el DNI. Este número es único para cada persona, y cada aplicación, para evitar los plagios. Este es el fichero que el alumno debe enviar vía Moodle para ser evaluado, mediante una actividad de la plataforma llamada “entrega”.

El alumno que no supere el laboratorio en cualquiera de los supuestos imaginables (por ejemplo: no asiste a la sesión práctica, no entrega informe, etc.) tiene que realizar un examen de recuperación de las prácticas o no supera la asignatura.

3. RESULTADOS

La Figura 3 muestra los resultados de los alumnos durante el curso 2020/21 en las asignaturas de fluidos de los dos grados mencionados. Se deduce fácilmente como en las dos sesiones de laboratorio los grupos que emplearon las aplicaciones (App) tuvieron resultados notablemente superiores. Conviene

recordar que desde el curso 2021/22 no hay grupos de control y todos los alumnos emplean la metodología nueva aquí explicada. En este curso en la sesión 1 en GIE el porcentaje de aprobados fue igual a 81,1% mientras que en MG fue de 75,4%. En la sesión 2 los porcentajes fueron 82,9% en GIE y 77,1% en MG. Estos datos muestran una mejoría con respecto al primer año de aplicación en ambos grupos, pero especialmente notable en MG que suben en torno a un 15% en la sesión 1 y un 30% en la sesión 2. En el curso 2022/23 se han analizado tan sólo los datos correspondientes a la sesión 1 de laboratorio, puesto que durante la redacción de este trabajo se sigue corrigiendo la sesión 2. Durante este curso los aprobados en los grupos de GIE corresponden a un 87,8%, mientras que en los grupos de MG el porcentaje es igual a un 85,1%. Si lo comparamos con años anteriores se observa como los porcentajes siguen al alza en ambos grupos, mejorando el rendimiento de los alumnos año a año. Los datos se tienen desglosados por práctica, género, etc. pero por razones de espacio resulta imposible realizar un análisis tan detallado. Con el fin de evitar que los alumnos resuelvan las aplicaciones mediante “boca a boca” y para enriquecer la actividad, sería conveniente diseñar versiones diferentes de la aplicación que se puedan ir alternando curso tras curso o incluso variaciones en el mismo curso para que cada cierto número de alumnos tengan una versión diferente.

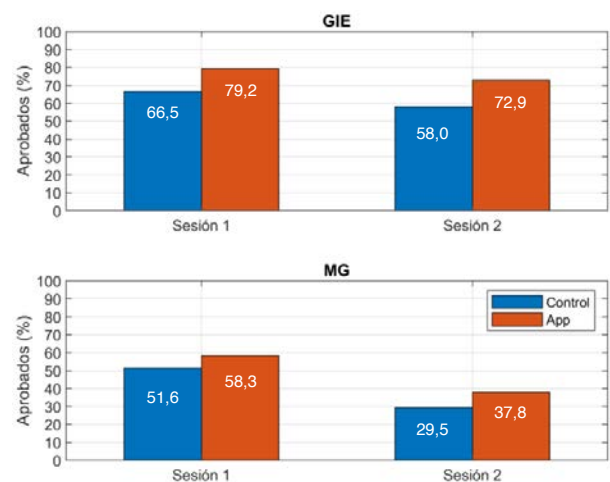


Figura 3. Resultados de los laboratorios, durante el curso 2020/21, que se presentan por titulación y grupo (experimental con el uso de las aplicaciones y control).

En el laboratorio de la asignatura de Transferencia de Calor durante el curso 2021/22, de 64 alumnos voluntarios, 46 de ellos (correspondiente a un 72%) resultaron aprobados, mientras que 18 (un 28%) no lograron superarlo. En la primera práctica el porcentaje de aprobados fue de un 84,4%, mientras que, en la segunda bajó a 71,9%. Siete alumnos consiguieron realizar las dos prácticas perfectas (10,94%). Como era una actividad voluntaria, los alumnos que no superaron la actividad no tenían que hacer un examen de recuperación. Durante el curso 2022/23, con laboratorio ya obligatorio, se registraron 166 aprobados (84,3%) de 197 matriculados. Resultado muy similar al año anterior, teniendo en cuenta que el primer curso eran alumnos voluntarios en los que podemos asumir mayor motivación. En la primera práctica el resultado ha sido de 81,7% de aprobados, y en la segunda de 89,3%. En la segunda práctica el resultado ha sido un 17% superior. En este caso, se tienen 18 alumnos (9,14%) que han realizado las dos prácticas perfectas; un porcentaje similar a la del curso 21/22.

En la Tabla 1 se muestran los resultados de las encuestas de los alumnos de fluidos durante 3 cursos. En la tabla no se distinguen las titulaciones, aunque se dispone de esa información. La pregunta P1 es “he aprendido cosas que considero valiosas”, la P2 es “mi interés por el tema ha aumentado gracias a las prácticas”, la P3 es “el material docente de las prácticas estaba bien preparado”, la P4 “la carga de trabajo y el ritmo de las prácticas ha sido adecuado” y la P5 “la dificultad de las prácticas ha estado acorde con lo esperado”. La valoración de la encuesta es en base a una escala tipo Likert con valores de 1 (muy en desacuerdo) a 5 (muy de acuerdo). El grupo de control sin aplicación (2020/21^b en la Tabla 1) tiene unos resultados menores en la apreciación de las prácticas, salvo en la dificultad en donde parecen estar más conformes. Los resultados son buenos y sostenidos en el tiempo, menos las preguntas P1 y P2 durante el curso 2021/22, donde los alumnos de no estaban especialmente motivados con la asignatura. Tendencia que se ha invertido en el curso 2022/23.

Tabla 1. Resultados (media \pm desviación) de las encuestas realizadas a los alumnos en los laboratorios. P# hace referencia al número de pregunta. El superíndice a hace referencia al grupo experimental y el b al grupo de control.

P#	Curso			
	2020/21 ^a	2020/21 ^b	2021/22	2022/23
P1	4,26 (0,70)	3,44 (0,89)	3,98 (0,77)	4,13 (0,83)
P2	4,26 (0,86)	3,19 (1,33)	3,84 (0,96)	4,20 (1,15)
P3	4,57 (0,86)	4,20 (0,68)	4,58 (0,64)	4,73 (0,59)
P4	4,45 (0,71)	3,94 (0,93)	4,42 (0,76)	4,80 (0,56)
P5	4,38 (0,79)	4,44 (0,63)	4,28 (0,73)	4,60 (0,51)

En la Figura 4 se muestran los resultados correspondientes a las encuestas realizadas a los grupos de transferencia de calor en los cursos 2021/22 y 2022/23. Los resultados son bastante parejos en ambos cursos para todas las preguntas, especialmente si tenemos en cuenta que el primer año eran estudiantes voluntarios y el segundo todos los alumnos del curso. Parece que la apreciación general es que las prácticas realizadas de esta manera “parecen sencillas”.

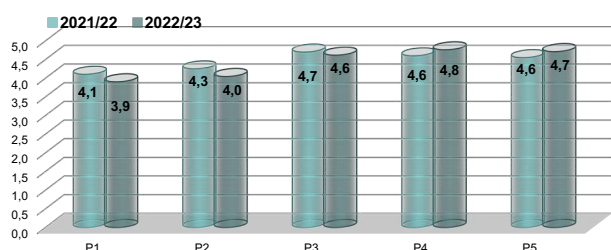


Figura 4. Datos de las encuestas de la asignatura de transferencia de calor en la titulación GIE.

Entre las respuestas libres realizadas por los alumnos se pueden destacar de entre las positivas: “Me han enseñado aplicaciones a la realidad de cosas que había aprendido en clase”; “Están muy bien organizadas”; “El programa que generaba los Excel de cálculos amenizaban mucho el trabajo; me gustó que se centrara en los conceptos teóricos más que en los propios cálculos”. De entre las negativas conviene destacar: “La obligación a ver el vídeo es prescindible y poco eficiente, es un vídeo lento que repite lo del guion”; “En la app cuando le dabas a anterior no iba del todo bien a veces”; “El número de prácticas me ha parecido escaso”.

4. CONCLUSIONES

Se presenta una metodología para su uso y desarrollo en la docencia de los laboratorios de cualquier asignatura de ingeniería. La metodología aplicada con evidente éxito en dos materias diferentes en la ETSIME consiste en la realización de unos videos con preguntas insertadas, unos guiones, la sesión presencial y el desarrollo de una aplicación concreta para la entrega de los resultados de las prácticas por parte del alumno. El trabajo aquí presentado ha llegado a más de 500 alumnos durante 3 cursos, incluido el actual.

Los alumnos han recibido esta metodología con bastante ilusión y motivación. Hecho que se refleja en una nota media de 4,12 sobre 5 a la pregunta “mi interés por el tema ha aumentado gracias a las prácticas” y una nota de 4,62 a la pregunta “el material docente de las prácticas estaba bien preparado”.

En resumen, podemos decir que la innovación es clave para mejorar la calidad y la eficacia de las prácticas en laboratorio en las ciencias aplicadas y la ingeniería. Es importante adoptar un enfoque innovador en la preparación de las prácticas y en la entrega de resultados para mejorar la experiencia de aprendizaje de los estudiantes y ayudarles a desarrollar habilidades y conocimientos relevantes para su futuro profesional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) la financiación aportada a través de los proyectos “GAMEinLABEX: Gamificación en los laboratorios y ejercicios para la mejora de los resultados de aprendizaje - IE22.0603” y “Mecánicas de juego en Mecánica de Fluidos - IE23.0604” de convocatorias competitivas de la UPM de los cursos 2021/22 y 2022/23.

REFERENCIAS

- Ahmari, H., & Kabir, S. M. I. (2019). *Applied Fluid Mechanics Lab Manual*. Mavs Open Press.
- Benito Oterino, J. M., Salazar Calderón, J. C., Fernández-Avilés Pedraza, D., Chueca Castedo, R. M., Sánchez Rupérez, A., & Martínez Peña, M. (2019). *Laboratorio virtual para autoaprendizaje en ingeniería. Taquimetría en TOPLAB, LV de observaciones topográficas UPM*. En V Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Cooperación - CINAIC.
- Deniz, S., Müller, U. C., Steiner, I., & Sergi, T. (2022). Online (remote) teaching for laboratory based courses using “digital twins” of the experiments. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 144(5), 051016.
- Mathworks (1 de mayo de 2023). *Matlab App Designer*. <https://es.mathworks.com/products/matlab/app-designer.html>
- Quizhpi, F. M., & Guillén, O. V. (2022). Uso de laboratorios remotos en la enseñanza de carreras de ingeniería: una revisión actual: Use of remote laboratories in the teaching of engineering careers: a current review. *Revista Científica Ecociencia*, 9, 24-41.