

Implementación de laboratorios 2.0 para mecánica de fluidos

Implementation of labs 2.0 for fluid mechanics

Ricardo Castedo¹, Ángel Prado¹, José M. Gómez¹, Anastasio P. Santos¹, Lina M. López¹, María Chiquito¹, Juan A. Rodríguez-Rama¹

ricardo.castedo@upm.es, a.pradom@alumnos.upm.es, josemaria.gomezc@upm.es, tasio.santos@upm.es, lina.lopez@upm.es, maria.chiquito@upm.es, jrodriguez@alumnos.upm.es.

¹Departamento de Ingeniería Geológica y Minera
Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, España

Resumen- Se ha desarrollado una serie de mejoras en aras de la digitalización de los laboratorios de Mecánica de Fluidos e Hidráulica que se cursan en las asignaturas de fluidos de 2º curso de diversos grados en la ETSIME de la Universidad Politécnica de Madrid. Esta experiencia se realiza durante el curso 2020-21, acelerado en parte debido a los problemas por la pandemia en el curso 2019-20. Se han creado unos videos resumen de las prácticas, actualizado los guiones y mantenido las sesiones presenciales en grupos reducidos. Para la entrega de resultados se han desarrollado unas aplicaciones en Matlab que el alumno debe emplear. En estas aplicaciones el alumno realiza o elige los cálculos o soluciones a lo visto en el laboratorio, realiza minijuegos y discute los resultados obtenidos. La mejora global en la entrega de resultados frente al método clásico en papel se sitúa en torno al 11%, siendo más importante en hombres que en mujeres. La apreciación de los alumnos, en base a encuestas, de la nueva metodología es bastante buena con valores superiores al 4 sobre 5 en todos los grupos en ambos géneros.

Palabras clave: *Matlab, Digitalización, Competencias transversales.*

Abstract- A series of improvements have been developed for the digitization of the Fluid Mechanics and Hydraulics laboratories that are studied in the fluid subjects of the 2nd year of various degrees in the ETSIME of the Universidad Politécnica de Madrid. This experience is carried out during the academic year 2020-21, accelerated in part due to the problems caused by the pandemic in the academic year 2019-20. Summary videos of the practices, updated the manuals, and maintained the face-to-face sessions in small groups have been done. For the delivery of results, some applications have been developed in Matlab to be used by the student. In these applications the student performs or chooses the calculations or solutions to what has been seen in the laboratory, performs mini-games and discusses the results obtained. The overall improvement in the delivery of results compared to the classic paper method is around 11%, being more important in men than in women. The students' appreciation of the new methodology, based on surveys, is quite good with values higher than 4 out of 5 in all groups in both genders.

Keywords: *Matlab, Digitalization, life-skills competencies.*

1. INTRODUCCIÓN

En la enseñanza de las ciencias aplicadas o la ingeniería es muy habitual el uso de laboratorios en determinadas disciplinas como la química, la física, la mecánica de fluidos, etc. En

general, estas prácticas se llevan realizando de la misma manera durante los últimos años sin apenas elementos innovadores, tanto en la preparación de las mismas, como en la entrega de resultados. Por ejemplo, en las ingenierías es muy común que el informe a entregar una vez realizadas estas prácticas sea de una manera tradicional con el uso de estadillos (tablas) en papel o en el mejor de los casos en formato digital como hojas de cálculo. En época de pandemia, estas entregas, especialmente el papel, queda en tela de juicio y de ahí la necesidad de actualizarse.

Por un lado, existen desde hace un tiempo los laboratorios virtuales que son muy aptos y aplicables para materias específicas como programación, ingeniería de control, ... fundamentalmente materias donde el alumno no tiene la necesidad de tocar o manipular un matraz, controlar un flujo de agua, equilibrar el peso de una compuerta, o cualquier situación que se le ocurra al lector donde el trabajo y la coordinación mano-ojo sea necesario (Calvo *et al.*, 2009; Medina *et al.*, 2011). Por otro lado, algunas de las disciplinas donde ese trabajo manual es necesario e importante, se han lanzado a generar los llamados laboratorios virtuales con buenos resultados, pero siempre sobre grupos controlados y poco numerosos en sesiones en aulas de informática vigiladas por el profesor. Por ejemplo, en el caso de Benito Oterino *et al.* (2019), se sustituye el uso de estaciones totales, que posiblemente no haya suficientes para el número de alumnos, por el uso de esta herramienta virtual en donde cada alumno simula el uso de este equipo. En el trabajo de Yustos Cuesta *et al.* (2016), se desarrollan aplicaciones en LabView y Matlab-Simulink para el uso de sistemas o modelos de control de temperatura, nivel y presión en sistemas industriales en ingeniería química dadas las limitaciones de material, presupuesto y/o tiempo.

Particularizando el análisis en laboratorios de mecánica de fluidos encontramos diversos trabajos con diferente nivel de madurez. El trabajo de Bolaños (2012) destaca la necesidad de la realización de prácticas, pues mejora y asienta los conocimientos teóricos recibidos en el aula y así lo demostró para alumnos de Ingeniería Mecánica en la Universidad Pontificia Bolivariana. Por otro lado, y volviendo a lo mencionado antes, en la Universidad de Cádiz en las prácticas

de fluidos (López Ruiz, Egea González y Laiz, 2017) los alumnos entregan un informe de prácticas en papel, respondiendo además unas preguntas cortas. Ante las dificultades de sus alumnos, el profesor Ahmari y su equipo (Ahmari *et al.*, 2019) realizaron videos explicando la práctica, además de rehacer los guiones con un lenguaje más cercano. De cara a la entrega de resultados se realiza con un informe en papel con los cálculos realizados, así como una explicación de los mismos. Por último, sirva como ejemplo la digitalización en la explicación, el desarrollo teórico y práctico del laboratorio y entrega de los resultados de las prácticas de laboratorio de fluidos en la ETSICCP de la Universidad Politécnica de Madrid (García y Laguna, 2021). En este caso han desarrollado una página web donde albergan diferentes videos explicativos (tipo píldora de unos 2 minutos), así como una zona privada para la entrega de resultados. Aunque la página web funciona, no parece estar usándose de manera activa.

El objetivo de este trabajo ha sido la digitalización de las prácticas, acelerado por la pandemia, de las asignaturas de Mecánica de Fluidos e Hidráulica y Mecánica de Fluidos. Esta digitalización se ha enfocado en los aspectos más anticuados de las mismas como la información pre-práctica (incluyendo videos y manuales de prácticas), práctica (uso de posters) y la entrega de resultados (desarrollo de aplicaciones de Matlab), sin perder la parte presencial donde el alumno maneja los equipos con sus propias manos.

2. CONTEXTO

Las asignaturas de Mecánica de Fluidos e Hidráulica y Mecánica de Fluidos se imparten en los Grados de Ingeniería de la Energía (GIE) y el conocido como Multigrado (MG - incluye el Grado de Ingeniería Geológica, Grado en Ingeniería en Tecnología Minera y el Grado en Ingeniería de los Recursos Energéticos, Combustibles y Explosivos), respectivamente. Dichas materias se dan en el 2º semestre del 2º curso en la ETSI Minas y Energía de la Universidad Politécnica de Madrid. Ambas materias constan de 6 créditos ECTS y son de carácter obligatorio. Conviene recordar que la nota de acceso para el GIE ronda todos los años el 9 o 10 sobre 14 en la EVAU, mientras que para MG la nota de acceso es un 5 sobre 14.

Después de un curso (2019/20) impartiendo las asignaturas involucradas, se retomaron los laboratorios que habían dejado de impartirse durante los últimos años. Esto, junto con la pandemia (que evitó la realización de la segunda sesión de laboratorio en dicho curso, que tradicionalmente se realiza entre abril/mayo), hizo evidente la necesidad de realizar progresos en los recursos disponibles para la mejora del proceso enseñanza-aprendizaje y la adquisición de competencias transversales por parte de los alumnos. Además, se ha tratado de buscar los medios alternativos para evitar que un posible segundo confinamiento forzase a la cancelación de las prácticas para el curso 2020/21.

Las asignaturas donde se han llevado a cabo el proyecto comenzaron en febrero y terminaron en mayo de 2021. Ambas son asignaturas iguales donde se imparten los fundamentos de la mecánica de fluidos, partiendo desde los conceptos más básicos, pasando por la estática, la dinámica/cinemática, capa límite, turbulencia, tuberías y canales abiertos, y terminando con turbomáquinas y bombas. Las asignaturas constan de dos laboratorios a los que se dedican cuatro horas presenciales y se estiman otras dos horas de trabajo del alumno.

El primer laboratorio consta de dos prácticas: fuerzas hidrostáticas sobre una superficie plana y el experimento de Reynolds (para evidenciar el flujo laminar y turbulento). Este laboratorio se realiza durante el final del mes de febrero y mitad de marzo. El segundo laboratorio consta de las prácticas sobre la ecuación de Bernoulli, caudalímetro de Venturi y el tubo de Pitot y la práctica sobre curvas características de una bomba centrífuga. Este laboratorio tiene lugar entre finales de abril y primeros de mayo. Las prácticas se realizan posteriormente a su enseñanza en el aula, aunque por razones de calendario, en el caso de la bomba centrífuga algún grupo realiza la práctica antes de ver su estudio en aula.

El número de alumnos matriculados en la asignatura de Mecánica de Fluidos e Hidráulica (GIE) ha sido de 184, mientras que en la asignatura de Mecánica de Fluidos (MG) el número de matriculados desciende a 78. Los resultados que se presentan en este trabajo se basan en el primer laboratorio realizado entre febrero y marzo del curso 2020/21, que incluye las prácticas de fuerzas hidrostáticas sobre una superficie curva y el experimento de Reynolds.

El laboratorio se evalúa como apto o no apto. Es necesario una evaluación como apto, para poder aprobar la asignatura ya sea por curso (evaluación continua) o por examen final. El alumno es apto si asiste a las prácticas y entrega los cálculos y valoraciones con un nivel de corrección suficiente, en caso contrario se le invita a repetir el trabajo.

3. DESCRIPCIÓN

En base a algunas de las pautas marcadas por Canino *et al.* (2014) se han diseñado los procedimientos metodológicos que orienten el proceso de enseñanza-aprendizaje en las Prácticas de Laboratorio en relación con las competencias a alcanzar. Las pautas seguidas han sido:

1. Proporcionar elementos de información suficientes para que el estudiante ejercite tanto competencias específicas de la materia como transversales.
2. Ofrecer al profesor la información adecuada para revisar y evaluar los resultados de aprendizaje, así como, los niveles de adquisición de conocimientos.

Las competencias a alcanzar en el laboratorio de estas asignaturas son:

1. Conocer los principios de mecánica de fluidos e hidráulica.
2. Conocer y aplicar conocimientos de ciencias y tecnologías básicas a la práctica de la Ingeniería.
3. Aplicar los conocimientos adquiridos para identificar, formular y resolver problemas dentro de contextos amplios y multidisciplinarios, siendo capaces de integrar conocimientos.
4. La importancia de trabajar en un entorno profesional y responsable.

El equipo de trabajo se ha propuesto también que el alumno alcance algunas competencias transversales establecidas por las directrices del Consejo de Gobierno de la UPM como es el uso de las TIC, organización y planificación, y análisis y síntesis. Además de cumplir con la competencia ABET: la capacidad de desarrollar y llevar a cabo la experimentación apropiada,

analizar e interpretar datos, y usar el juicio de ingeniería para sacar conclusiones.

En relación con la primera pauta marcada por Canino, y el punto de partida del laboratorio (guiones de prácticas en papel), se ha procedido a una actualización y mejora de todos los recursos, además de la creación de nuevos. Los recursos se van a presentar en orden cronológico como si el lector fuese a asistir a una de las prácticas (ver Figura 1).



Figura 1. Esquema de los recursos empleados por el alumno para llevar a cabo con éxito el proceso de aprendizaje de las prácticas del laboratorio.

Desde el espacio web de la asignatura en Moodle, se pone a disposición del alumno un video de cada práctica de entre tres y cinco minutos de duración donde se explica a grandes rasgos en qué consiste lo que va a ver en el laboratorio. El alumno debe ver este video antes de asistir a su sesión de laboratorio. Estos videos también se realizaron con el objetivo de tener una visión general de la práctica en caso de confinamiento duro por la pandemia. En el mismo espacio de Moodle, el alumno tiene a su disposición un guion de prácticas, siguiendo la idea del profesor Ahmari *et al.* (2019), con un lenguaje lo más cercano posible, con esquemas y despieces de los equipos a manejar, además de un breve repaso de los conocimientos fundamentales vistos en la teoría y que son necesarios para la realización con éxito de las prácticas.

El alumno asiste al laboratorio en grupos por orden alfabético de no más de 10 alumnos. La sesión correspondiente (día y hora) es asignada por el profesor. En estas sesiones de dos horas se realizan dos prácticas. En ellas el profesor encargado, explica brevemente el funcionamiento del aparato, y los cálculos a realizar mediante una breve lección magistral. Los alumnos tienen a su disposición un póster (tamaño A1) resumen con los datos más importantes, al que suelen hacer una foto (Figura 2). Después de esta introducción los alumnos en grupos más reducidos realizan la práctica con la supervisión del profesor, toman nota de los datos en sus guiones de prácticas que deben traer en el formato que elijan (papel o digital). Estos datos serán los necesarios para su uso en las App de Matlab.

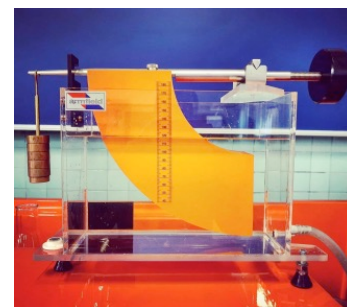
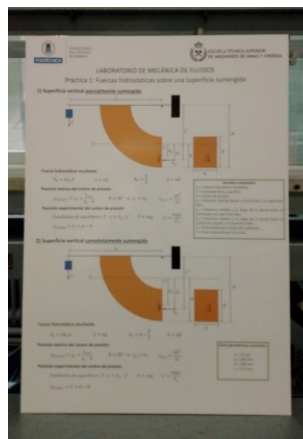


Figura 2. Ejemplo del póster y equipo empleado para la práctica de fuerzas hidrostáticas.

Una vez el alumno tiene los datos del laboratorio su trabajo consiste en descargarse la App de Matlab desarrollada y albergada en Moodle, la descarga, la instala y la ejecuta. Hay una App por práctica, con un total de cuatro Apps. Además, el alumno dispone de una guía de instalación y un repositorio de preguntas frecuentes con las dudas y/o problemas que han ido surgiendo en el desarrollo de la App. Se ha empleado Matlab puesto que es un software que se enseña en asignaturas de 1º y en algunas de 2º curso como Estadística o Informática y Programación, y con el que el alumno tiene cierta familiaridad. La App de cada una de las prácticas varía un poco según las necesidades a cubrir, pero como parte común a cada una de ellas se solicita unos datos de entrada y una respuesta abierta de pensamiento crítico cuyo formato puede cambiar de una App a otra (Figura 3). Sirva como ejemplo lo solicitado para la realización de la práctica del experimento de Reynolds (Figura 4). En este caso al alumno se le solicitan los datos medidos en el laboratorio como volumen, tiempo, temperatura del agua y diámetro de la tubería. Con esto, el alumno debe ser capaz de obtener el número de Reynolds y elegir el correcto en cada caso, sobre las opciones dadas. Una vez concluido este paso, debe interactuar con diferentes fluidos comunes como agua, aceite y leche, a los que modificar el caudal, sobre unas condiciones dadas para ver cómo cambia el régimen de laminar a turbulento. Posteriormente se le realizan preguntas con el fin de activar su pensamiento crítico sobre el “juego” realizado.



Figura 3. Datos de entrada y pensamiento crítico empleado para la práctica de fuerzas hidrostáticas.

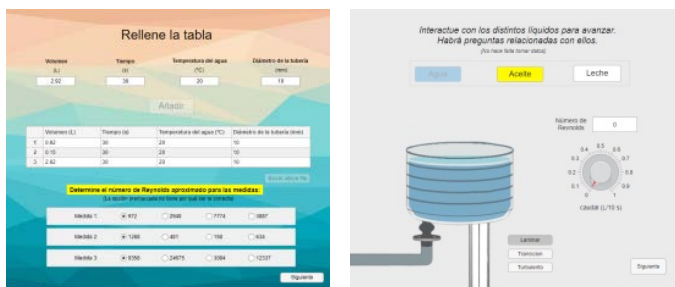


Figura 4. Datos de entrada y pensamiento crítico empleado para la práctica de fuerzas hidrostáticas.

Finalmente, la App generada, crea un Excel codificado con las respuestas de cada alumno, su DNI, su nombre y apellidos y un número identificativo generado sobre el DNI, por tanto, único para cada persona, para evitar los plagios y/o copias. Este es el fichero que el alumno debe enviar vía Moodle en un tiempo determinado (una semana después de la práctica) para ser evaluado.

Además, al alumno se le facilita una encuesta voluntaria y anónima de seis preguntas a través de un link a Google Forms en la página de Moodle de la asignatura. Es una escala de 1 (muy en desacuerdo) a 5 (muy de acuerdo) tipo Likert.

4. RESULTADOS

De los alumnos matriculados en GIE, 113 han empleado las aplicaciones de Matlab (82 hombres y 31 mujeres) – le llamaremos GIE-App, mientras que 56 (39 hombres y 17 mujeres) han seguido la entrega tradicional en papel y son el grupo de control – le llamaremos GIE-Control. Tan sólo 15 alumnos no han participado en las prácticas y, por ende, tendrán que realizar un examen extraordinario para superar la asignatura. En cuanto a los alumnos de MG, 69 han realizado la primera práctica (54 hombres y 15 mujeres), de ellos 36 (26 hombres y 10 mujeres) usan la App – le llamaremos MG-App, y 33 (28 hombres y 5 mujeres) son el grupo de control – le llamaremos MG-Control. Sólo 9 alumnos no han participado en el laboratorio y tendrán que recuperar en junio.

En la primera sesión del laboratorio que incluye las dos primeras prácticas se tienen los resultados detallados en la Tabla 1 para el grado GIE. Para los resultados aquí presentados hemos considerado como trabajo aprobado el que no tiene ningún error y suspenso el que presenta algún fallo por pequeño que sea. Eso no quiere decir que todos los alumnos suspensos sean no aptos, es más, todos estos alumnos por haber entregado la práctica y tener un nivel suficiente se les considera aptos. A la luz de los resultados obtenidos se puede afirmar que con la App el porcentaje de resoluciones correctas es más alto que las clásicas entregas en papel, en torno a un 15%. Este efecto se ve más acentuado en hombres que en mujeres. Además, entre un 5 y un 10% de mujeres realizan las prácticas mejor que los hombres con la App o en papel, respectivamente.

Tabla 1. Porcentaje de alumnos y sus resultados en el laboratorio uno para el grupo GIE.

GIE-App	Alumnos [%]	Mujeres [%]	Hombres [%]
Aprobado	79,2	82,3	78,1
Suspenso	20,8	17,8	22,0
GIE-Control	Alumnos [%]	Mujeres [%]	Hombres [%]
Aprobado	66,1	73,6	62,8
Suspenso	34,0	26,5	37,2

Los resultados detallados del primer laboratorio para el grado MG se pueden ver en la Tabla 2. En el caso del MG la mejora de los resultados con la App es de un 7% aproximadamente, algo inferior a lo logrado en GIE. El desempeño de las mujeres ha sido muy superior al de los hombres en el grupo experimental y el de control. Sorprende que el único caso en que no mejora la App al tradicional papel es en las mujeres del MG, quizá debido al perfil menos tecnológico de este grado. Este resultado también puede deberse al escaso número de mujeres en el grupo de control.

Tabla 2. Porcentaje de alumnos y sus resultados en el laboratorio uno para el grupo MG.

MG-App	Alumnos [%]	Mujeres [%]	Hombres [%]
Aprobado	58,3	75,0	51,9
Suspenso	41,7	25,0	48,1
MG-Control	Alumnos [%]	Mujeres [%]	Hombres [%]
Aprobado	51,6	90,0	44,7
Suspenso	48,5	10,0	55,4

De los resultados mostrados en la Tabla 1 y Tabla 2, se observa que el porcentaje de alumnos que aprueban la práctica con la App es mucho más importante en el GIE que en MG, con un 79% y un 58%, respectivamente. Esto parece reforzar la idea de que el perfil de entrada del alumno de GIE es algo más tecnológico que el del MG.

La encuesta ha sido respondida por 44 hombres y 22 mujeres del grupo GIE, mientras que sólo 10 hombres y 3 mujeres han contestado la encuesta en el grupo MG. Esto demuestra la diferencia de interés e implicación de un grupo u otro, y puede ser explicación para los diferentes resultados obtenidos. Debido a un problema con la versión de la encuesta puesta a disposición de los alumnos, no se tiene información sobre qué alumnos pertenecieron a los grupos con App o de control.

En la Figura 5, se pueden observar los resultados obtenidos para la encuesta según el grupo al que pertenecían los alumnos. 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”. Puede verse ciertas diferencias entre los grupos, especialmente en la visión que tiene el grupo de GIE respecto a la dificultad de las prácticas en comparación con el MG.

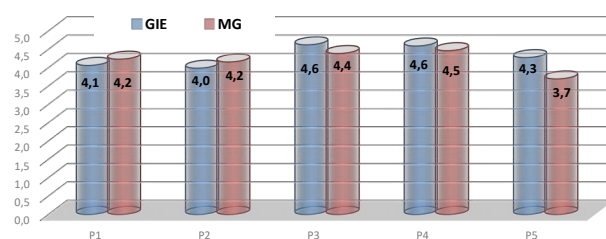


Figura 5. Datos de las encuestas para el Grupo GIE y el MG.

Los resultados correspondientes al grado GIE se pueden ver en la Figura 6. Los datos no arrojan diferencias estadísticamente significativas con el test Chi-Square (Miller y Miller, 2010). En general los resultados son bastante buenos en cuanto a la

sensación del laboratorio, la carga de trabajo y el interés por la materia. Quizá hay que destacar la sensación más positiva que tienen las mujeres sobre la calidad del material docente (P3) con respecto a sus compañeros.

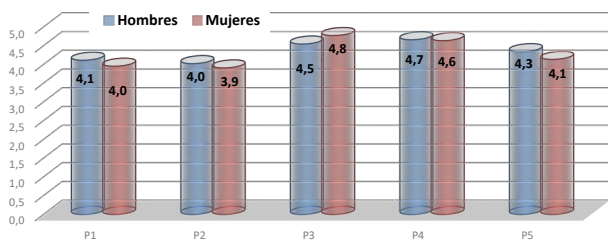


Figura 6. Datos de las encuestas separados por hombres y mujeres en la titulación GIE.

Los resultados para las preguntas realizadas en MG se pueden ver en la Figura 7. De nuevo ninguna de las respuestas resulta estadísticamente significativa, y, además el número de datos como se ha mencionado es muy pequeño. Notar la diferencia importante en la valoración de la dificultad entre hombres y mujeres (P4). Los hombres no esperaban la “dificultad” de las prácticas, mientras que las mujeres si eran más conscientes del trabajo a realizar. Esto explica de alguna manera los resultados de la Tabla 2. Donde sólo el 50% de los hombres ha sido capaz de realizar las prácticas de manera correcta. Conviene destacar también la alta valoración del material generado por ambos sexos, en especial por las mujeres.

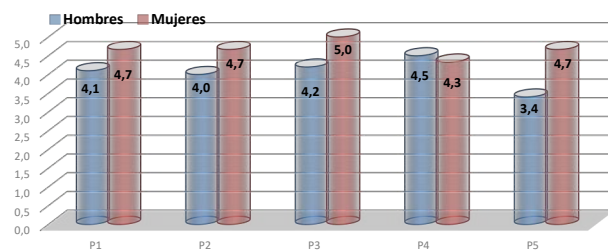


Figura 7. Datos de las encuestas separados por hombres y mujeres en la titulación MG.

En el cuestionario se les dejó a los alumnos la libertad de expresar lo deseasen tanto positivo como negativo como preguntas abiertas. De entre lo positivo podemos destacar (algunas de ellas se repiten en el fondo, aunque con diferentes expresiones):

- *La explicación previa a la práctica y los videos.*
- *El trabajo que hacen los profesores para intentar hacerlas presencialmente ya que lo que se da en laboratorio al tocar y ver las cosas se memoriza todo mucho mejor.*
- *El número de medidas tomadas permite, a mi juicio, entender mejor el caso que se estudiaba, sobre todo en el empuje.*
- *De esta forma el proceso del informe de la práctica es más interactivo y ameno, en mi caso considero que he aprendido más que si la hubiese hecho en papel.*
- *Ver que lo que damos en clase tiene una aplicación práctica real.*

- *Me ha encantado utilizar la app ya que considero que es una forma distinta de aprender y además entretenida.*
- *Me ha gustado el detalle del minijuego, ¡muy bueno! Al principio no me hacía gracia y le cogí el gusto y todo. Creo que es una forma más dinámica que realizar los laboratorios ya que a pesar de tener que hacer igualmente los cálculos al tener varias opciones y meter datos y eso creo que está guay y entretenido.*

Como se puede ver los alumnos destacan diferentes aspectos de la práctica, como la App, el trabajo en el laboratorio, o las labores docentes. Se han recibido unas 45 respuestas positivas. En cuanto a las mejoras propuestas por los alumnos o los inconvenientes encontrados podemos destacar:

- *El número de prácticas me ha parecido escaso y hacer más creo que ayudará a entender mejor la asignatura y que los alumnos la disfruten más.*
- *Tuve varios problemas a la hora de abrir las aplicaciones con Matlab, al final pude resolverlo, pero resultó frustrante. Podría ser buena idea crear un foro de cara a futuro para que los estudiantes presenten ahí problemas que surjan respecto a la instalación/uso de la aplicación y tanto profesores como otros alumnos que hayan tenido el mismo problema puedan ayudar.*
- *Si no tienes Matlab instalado, se tarda mucho y eso aumenta el tiempo de realización de la práctica considerablemente.*
- *Obligatorio el uso de la APP.*

Algunos de los aspectos negativos o consejos como el uso de un foro de ayuda puede ser muy útil, o el tratar de avisar al inicio de curso de la instalación de Matlab para que al realizar las prácticas no les lleve tanto tiempo. El número de respuestas negativas o comentarios de mejora ha sido tan sólo de 13.

Como avance de los datos registrados en la segunda sesión de laboratorio, datos que están siendo tratados actualmente, notar que si se pudo hacer distinción entre alumnos de control y alumnos con la App. Ante la pregunta “¿Preferías tener las prácticas con la APP desarrollada (5) o seguir método tradicional (1)?” conviene destacar que, de media sobre 5 puntos de la escala, el resultado fue de 4,3 en los grupos con App en el segundo laboratorio y de 4,9 en los grupos de control. Notar que los grupos de App del segundo laboratorio fueron grupos de control en el primero y viceversa.

5. CONCLUSIONES

Se han creado una serie de aplicaciones y material complementario para aumentar la digitalización de las prácticas del Laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica. En este trabajo hemos llegado a unos 260 alumnos de segundo curso de diferentes grados.

Las aplicaciones para la entrega de resultados han tenido como objetivo reducir, en la medida de lo posible, el trabajo repetitivo y laborioso de cálculo que arrastraban las entregas tradicionales, y enfocarlo más a la mejora y el logro de las competencias mencionadas en la sección 3. Tanto desde el punto de vista de los alumnos como del profesorado, se

considera mucho más valioso el conocimiento teórico que la repetición de números cálculos que hace del alumno una mera calculadora.

El porcentaje de aprobados entre los alumnos que utilizaron las aplicaciones resultó ser más alto, en general, que el de los alumnos que hicieron las entregas a papel. Mejorando las tasas de rendimiento con la inclusión de esta nueva tecnología. El incremento en estas tasas se hace especialmente evidente entre los hombres que han cursado la asignatura.

Los alumnos han recibido esta nueva forma de trabajar con bastante ilusión y motivación. Evidentemente no todo el mundo está satisfecho, pero una nota media de 4,7 sobre 5 a la pregunta de si “el material docente de las prácticas estaba bien preparado” y una nota media de 4,2 sobre 5 a la pregunta de si “mi interés por el tema ha aumentado gracias a las prácticas” demuestra que los resultados han sido más que buenos.

El grueso de la programación de las aplicaciones ha recaído sobre un estudiante de grado como parte de su proyecto fin de carrera. Esto nos ha dado la ventaja de tener un alumno como referencia a la hora de su diseño e implementación. Por supuesto, han ido surgiendo problemas menores que se han ido solucionando a medida que se han detectado. La detección de estos errores ha sido gracias a los alumnos según avanzaba el curso como por el equipo de trabajo en la revisión de este. Teniendo en cuenta que este ha sido el curso piloto para probar esta nueva dinámica, los resultados obtenidos son excelentes, además que para los siguientes cursos ya estará más que depurado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Departamento de Ingeniería Geológica y Minera de la E.T.S. Ingenieros de Minas y Energía (Universidad Politécnica de Madrid) la predisposición y facilidades ofrecidas para la mejora e innovación del Laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica.

REFERENCIAS

- Ahmari, K., Kabir, S. M. I., Czubai, A., Patel, A. & Sopko, N. (2019). *Applied Fluid Mechanics Lab Manual*. Estados Unidos. Universidad de Arlington. 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.
- Bolaños, F. 2012. Laboratorio de física mecánica de fluidos como herramienta pedagógica. *Ingeniería solidaria*, 8 (14), 26-33.
- Calvo, I., Zulueta, E., Gangoiti, U., López, J. M., Cartwright, H., & Valentine, K. (2009). Laboratorios remotos y virtuales en enseñanzas técnicas y científicas. *Ikastorratza*, 3 (3), 1-21.
- Canino, J. M., Mena, V., Alonso, J., Ravelo, A., & García, E. (2014). Prácticas de laboratorio en contextos de enseñanza-aprendizaje basados en competencias: dificultades y oportunidades. I Jornadas Iberoamericanas de Innovación Educativa en el ámbito de las TIC Las Palmas de Gran Canaria. 27-28 de noviembre de 2014. ISBN: 978-84-617-1860-3
- García, J. & Laguna, F. V. (10 de mayo de 2021). *Prácticas de Laboratorio de Hidráulica. Universidad Politécnica de Madrid*. Recuperado el día 10 de mayo de 2021 de <http://gie30.caminos.upm.es/>.
- López Ruiz, F., Egea González, I. & Laiz, I. (2017). *Prácticas de Mecánica de Fluidos*. España. Universidad de Cádiz. Departamento de Física Aplicada. Grado en ANIM.
- Medina, A. P., Saba, G. H., Silva, J. H., & de Guevara Durán, E. L. (2011). Los laboratorios virtuales y laboratorios remotos en la enseñanza de la ingeniería. *Revista Internacional de Educación en Ingeniería*, 4, 24-31.
- Miller, J., & Miller, J. C. (2010). *Statistics and chemometrics for analytical chemistry*. Pearson Education, Essex, England.
- Yustos Cuesta, P., Guijarro Gil, M. I., Santos Mazorra, V. E., Toledo Gabriel, J. M., Alonso Rubio, M. V., Domínguez Toribio, J. C., ... & Curto Maldonado, A. (2016). *Laboratorios Virtuales de Sistemas de Control de Procesos en Labview y en Matlab-Simulink*.