

# Laboratorios Virtuales, un complemento inmersivo para la preparación autónoma de laboratorios experimentales de Ingeniería y Mecánica de Fluidos (FLU-LABVIR)

BANCO DE BUENAS PRÁCTICAS DOCENTES

ANA CRUZ DEL ÁLAMO, PEDRO MEGÍA, JORGE PLAZA, CINTIA  
CASADO, RAFAEL VAN GRIEKEN, RAÚL MOLINA

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL  
GRUPO DE INNOVACIÓN DOCENTE GID-SIMIP



CENTRO DE INNOVACIÓN DOCENTE Y EDUCACIÓN DIGITAL  
Universidad Rey Juan Carlos

## I. La práctica

- **Título:** Laboratorios Virtuales, un complemento inmersivo para la preparación autónoma de laboratorios experimentales de Ingeniería y Mecánica de Fluidos (FLU-LABVIR)
- **Curso Académico:** 2020/2021
- **Asignatura:** Ingeniería de Fluidos, Mecánica de Fluidos
- **Área/Titulación:** Mecánica de Fluidos, Ingeniería Química / Grado de Ingeniería en Organización Industrial (GIOI), Grado de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática (GIEIA), Grado de Ingeniería Aeroespacial en Aeronavegación (GIAA), Grado de Ingeniería Aeroespacial en Vehículos Aeroespaciales (GIAVA), Grado de Ingeniería Aeroespacial en Transporte y Aeropuertos (GIATA)
- **Grupo de Estudiantes:** Segundo curso, primer cuatrimestre (GIOI y GIEIA); segundo curso, segundo cuatrimestre (GIAA, GIAVA, GIATA)
- **Palabras clave:** Laboratorio; fluidos; plataforma online; simulador

### Breve resumen de los diferentes apartados

De forma tradicional, la actividad de laboratorio precisa de una fase previa, en la que se suele entregar un guion de la práctica, en formato digital (pdf) o impreso, a los alumnos para que estudien y se familiaricen con los fundamentos teóricos, de manejo y de procesado de datos de la instalación. Posteriormente, se desarrolla una fase de experimentación en laboratorio y una última fase de preparación de un informe con los datos y las conclusiones obtenidas, según el guion previamente proporcionado. Esta metodología plantea un acercamiento a la práctica de forma completamente teórica, con un guion que resulta poco atractivo teniendo en cuenta las tecnologías de comunicación disponibles hoy día para profesores y alumnos, y con un planteamiento completamente teórico de funcionamiento de los equipos, las medidas a realizar, y los problemas operacionales que se pueden plantear.

Teniendo en cuenta todo esto, la práctica FLU-LABVIR trata de innovar en la experiencia de los alumnos que tienen que realizar prácticas de laboratorio, en particular de las asignaturas de ingeniería y mecánica de fluidos, proporcionándoles una herramienta (guion de la práctica) adaptada al contexto de los medios de comunicación actuales, en formato web multi-plataforma (PC, móvil, tablet) a través de la herramienta Microsoft Sway con la que cuenta la Universidad Rey Juan Carlos. Además, es una herramienta adicional para poder practicar el manejo de la instalación experimental a través de un simulador inmersivo que reproduce el manejo de la práctica lo más fielmente posible, incluido errores de calibración de equipos de medida durante la práctica, saturación de elementos indicadores, etc. De este modo, los alumnos cuentan con un guion disponible en su ordenador o móvil, donde se incluyen no solo los fundamentos teóricos y las

medidas a realizar durante la práctica, si no también imágenes y animaciones para reforzar esa teoría, y videos explicativos del manejo de la práctica realizados por algunos de los profesores encargados de impartir las mismas. Dentro de esta web, los alumnos tienen posibilidad de descargar o acceder por medio de la plataforma MyApps al simulador de la práctica, para que puedan trabajar virtualmente con ella, siguiendo los pasos necesarios para tomar medidas, de forma similar a como las realizarían presencialmente en el laboratorio. Este simulador está acompañado por un video tutorial de corta duración donde se muestra el manejo del simulador y de cómo se opera para reproducir el manejo y la toma de medidas de la práctica experimental.

Durante el curso 2020/21 la actividad de laboratorios virtuales se pudo implementar tanto como una actividad complementaria a los laboratorios de prácticas experimentales (Fase I), como en forma de actividad obligatoria independiente para realizar en remoto asíncrono (Fase II). La experiencia de los profesores y los alumnos involucrados en la actividad muestra que la percepción que tienen de los laboratorios virtuales es la de un buen complemento a los guiones de laboratorios y una forma de acercarse en un primer momento al manejo de las instalaciones experimentales, tanto para estudiantes como para profesores de prácticas nóveles. El guion web permite un fácil acceso y facilita el entendimiento de la parte teórica y de la parte experimental de las prácticas de laboratorio. Los videos de la propia instalación son muy valorados por los estudiantes. Por otro lado, los alumnos que han realizado la práctica experimental confirman que el simulador facilita la comprensión y manejo de la instalación en el laboratorio, siendo muy útil para la preparación de los laboratorios y el proceso de aprendizaje del alumno.

Todo este trabajo forma parte de las actividades desarrolladas por el reciente grupo de innovación docente de la URJC GID-SIMIP (**G**rupo de **I**nnovación **D**ocente para el desarrollo y aplicación de nuevas herramientas de **S**IMulación en Ingenierías de **P**rocesos), y la presentación y acceso a toda la actividad de laboratorios virtuales, pueden encontrarse en el siguiente enlace:

<https://www.gid-simip.com/laboratorios-virtuales/>

Así mismo, en el siguiente enlace se encuentra un video-resumen de la estructura de los laboratorios virtuales y los resultados obtenidos en su implantación durante el curso 2020/21 (Jornada de Innovación Docente en Ingeniería Química: Metodologías adaptada a la docencia semipresencial, organizado en la Universidad Rey J en noviembre de 2021): <https://youtu.be/39SU5fdAtMo>

## 2. Justificación

Las prácticas en laboratorios experimentales constituyen una actividad de los Grados de Ciencias e Ingenierías de cualquier universidad, y en concreto de la Universidad Rey Juan Carlos. Estos laboratorios permiten a los alumnos adquirir competencias tan importantes como el manejo de instalaciones experimentales para obtener datos cuantificables, el diseño de experimentos en esas instalaciones que permitan la obtención de correlaciones empíricas y la obtención de conclusiones de forma razonada y sistemática. De forma tradicional, en una práctica de laboratorio, el profesor proporciona a los alumnos un guion (en digital o impreso) con el fundamento teórico de la práctica, una descripción de la instalación y de su manejo, una relación de medidas a realizar, y un esquema de los cálculos y resultados que deben calcularse y discutirse en un informe final para la evaluación de la práctica (Figura 1). Es habitual que exista algún tipo de evaluación de la comprensión de la instalación y la práctica a realizar previamente a poder acceder al manejo de la instalación, y en caso de no superarse, también es habitual que el alumno deba repasar otra vez el guion y reevaluarse, siempre con el objetivo de garantizar un manejo seguro de la instalación y una comprensión del objetivo de la práctica por parte del alumno.

Esta metodología tradicional plantea algunos problemas de cara a nuevas generaciones de alumnos de ingeniería. Por un lado, el conocimiento de la práctica, el manejo, las medidas a realizar, etc., se basan en un manual completamente teórico. Por otro lado, ese manual (guion de la práctica) resulta en muchos casos poco atractivo, aburrido y tedioso para los alumnos, lo que lo convierte en una herramienta que pierde parte de su utilidad como elemento motivador del aprendizaje de la práctica.



**Figura 1.** Flujo de trabajo de un estudiante en una práctica de laboratorio experimental

En una época en las que las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) están cada vez más presentes en el aprendizaje de la ingeniería, y el desarrollo de herramientas para aprendizaje online, autónomo, etc., son cada vez más relevantes las actividades como la que aquí se presenta, ya que es un paso en favor de integrar la enseñanza en laboratorios experimentales con estas nuevas tecnologías disponibles.

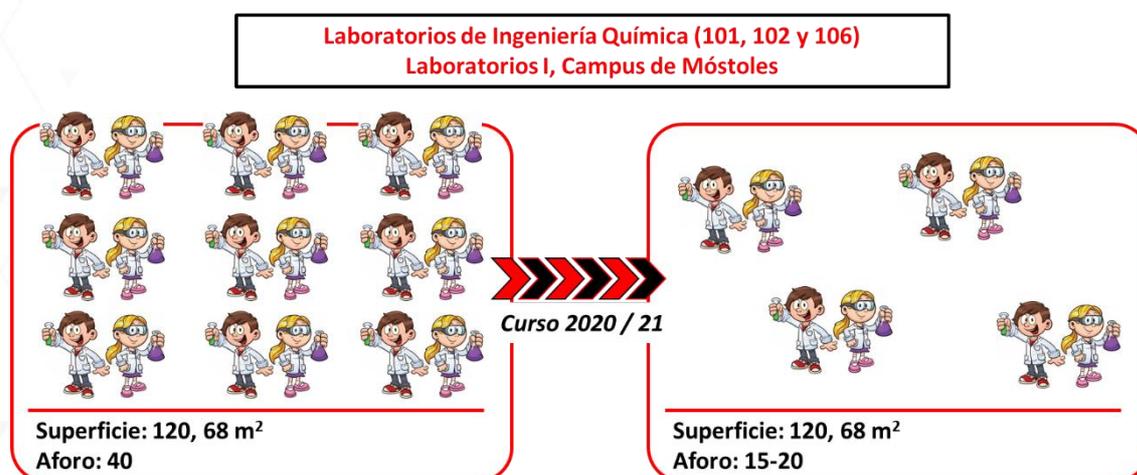
El diseño de un guion de prácticas en formato web, presenta varias ventajas:

- Permite incorporar elementos atractivos para el aprendizaje del fundamento teórico de la práctica, reforzando los conceptos con ejemplos, enlaces a noticias de actualidad, videos o animaciones relacionadas con la temática de la práctica.
- Permite incluir ejemplos visuales de manejo de la instalación real, a base de pequeños videos realizados por los propios profesores encargados de impartir las prácticas, donde se muestra la instalación experimental en el laboratorio, la práctica en funcionamiento, el manejo de las diferentes partes (válvulas, elementos de medidas, etc.), e incluso pequeños trucos para sacar el máximo partido durante el manejo de la misma.
- Con el formato web, el acceso al guion puede hacerse desde el ordenador, teléfono móvil o tablet, elementos con los que los alumnos están cada vez más familiarizados para el estudio y la búsqueda de información.
- La disponibilidad de una herramienta adicional, como es el simulador de la práctica, incorporado en el guion web, hace posible una primera toma de contacto virtual con el manejo de la misma, el manejo de las diferentes partes, y el tipo de resultados que se obtienen o medidas que se realizan. En este sentido, el simulador presenta un entorno lo más inmersivo posible con una interfaz gráfica donde los diferentes elementos de la práctica son claramente identificables con ayuda de los videos cortos mencionados previamente, permitiendo realmente al alumno comprender el funcionamiento de la instalación, las medidas a realizar, los cálculos a desarrollar con estas medidas, y en definitiva comprender el objetivo de la práctica dentro de la asignatura.

Por estos motivos, la actualización de los guiones a formato web, incluyendo el acceso al simulador inmersivo de la práctica, lo que llamamos en definitiva laboratorios virtuales, resulta una adaptación fundamental de los laboratorios experimentales y un complemento indispensable para mejorar la experiencia de aprendizaje de los alumnos, favorecer la adquisición de competencias relacionadas con la operación de instalaciones de laboratorio, obtener datos experimentales e inferir a partir de ellos las leyes y principios generales de diferentes aspectos de la ingeniería.

Además de esta ventaja de los laboratorios virtuales como actividad complementaria a los laboratorios experimentales, se plantean otras derivadas de la situación excepcional vivida durante el curso 2020/21. El diseño y organización de los laboratorios experimentales de una asignatura plantea diferentes retos, algunos de ellos agravados por la situación sanitaria derivada del COVID-19. Desde el punto de vista organizativo, los laboratorios cuentan con prácticas limitadas en número, de modo que es común la organización de turnos

donde los alumnos se distribuyen en grupos de 2-5 personas dedicados a una sola instalación experimental por turno. Además, hay determinadas asignaturas, con sus correspondientes prácticas, como el caso de la ingeniería de fluidos o la mecánica de fluidos, que son obligatorias en prácticamente todos los Grados de Ingeniería de la Universidad Rey Juan Carlos, lo que hace que el grado de ocupación de esas instalaciones sea muy elevado durante todo el curso. Durante el curso 2020/21, los espacios físicos de los laboratorios sufrieron una drástica reducción de aforo debido a la emergencia sanitaria del COVID-19 (Figura 2). Esto motivó, no solo un uso más intensivo de los laboratorios a lo largo del año, con turnos más largos y grupos de menor tamaño, sino que en asignaturas con gran número de matriculados (como la asignatura de mecánica de fluidos de los Grados de Ingeniería Aeroespacial) se tuvieron que replantear los seminarios experimentales de corta duración que forman parte de las actividades de la asignatura. De este modo, durante el curso 2020/21 se impartieron dichos seminarios experimentales utilizando exclusivamente la herramienta de laboratorios virtuales desarrollada, sustituyendo al seminario experimental. Este plan de contingencia permitió seguir realizando esta actividad, que estaba completamente comprometida en base al elevado número de alumnos, los aforos, y la organización de docencia presencial del curso 2020/21 en el Campus de Fuenlabrada.



**Figura 2.** Ejemplo de los cambios en los aforos de los laboratorios de Ingeniería Química durante el curso 2020/21 debido a las medidas de seguridad por el COVID-19 (*Imagen de niños científicos gratuita: <https://www.klipartz.com/es/sticker-png-alhrn>*)

Dentro de la situación excepcional del curso pasado, los laboratorios virtuales han constituido también una alternativa para la realización de alguna práctica de laboratorio con alumnos en aislamiento debido a contagio, sospechoso de contagio o contacto estrecho de COVID-19. En circunstancias normales, las ausencias justificadas al laboratorio se solventan con un cambio de turno dentro de los grupos formados en

la propia asignatura o, en caso de necesidad, en turnos de otras asignaturas con las mismas prácticas, pero de otros Grados. Esta alternativa quedaba descartada en el curso 2020/21 debido a la ocupación y aforos de los laboratorios.

Finalmente, los laboratorios virtuales son una herramienta formativa muy interesante para profesores noveles que tengan que impartir prácticas de laboratorio. En general, un profesor que debe aprender el manejo de una práctica de laboratorio docente sigue el mismo esquema mostrado en la Figura I, con la diferencia de que la toma de datos y el manejo de la instalación lo realiza supervisado con un profesor con experiencia en la misma. El problema de esta metodología es exactamente el mismo que en el caso de un alumno, de modo que el disponer de los laboratorios virtuales permite a un docente novel “entrenar” en el manejo de la práctica y en las medidas y tomas de datos a través del simulador inmersivo, como paso previo a emplear por primera vez la instalación de forma supervisada durante su aprendizaje.

## 3. Desarrollo

### Objetivos

El objetivo general de la actividad *Laboratorios Virtuales, un complemento inmersivo para la preparación de laboratorios experimentales de Ingeniería y Mecánica de Fluidos de forma autónoma*, es el diseño y puesta en marcha de unos laboratorios virtuales centrados en unas prácticas de dos asignaturas concretas, ingeniería de fluidos y mecánica de fluidos, presentes en todos los Grados de Ingeniería en los que imparten clase el Departamentos de Tecnología Química y Ambiental de la Universidad Rey Juan Carlos, como complemento a la actividad tradicional de laboratorio de prácticas experimentales.

Dentro de este objetivo general, podemos definir objetivos más particulares:

- Diseño de un guion en formato página web, visual y fácil de entender, con mayor contenido audiovisual, de forma que sea más atractivo, además de accesible desde el ordenador, el móvil, tablet, etc. Como parte fundamental de este guion web, está la grabación de pequeños videos que muestren la instalación experimental en los laboratorios de la universidad, con ejemplos de manejo y utilización por parte de profesores expertos en la propia práctica, de forma que ésta sea familiar cuando los alumnos accedan al laboratorio presencialmente.

- Diseño de un simulador inmersivo para que el alumno pueda trabajar virtualmente con la práctica, siguiendo los pasos y tomando las medidas que realizaría en la práctica presencial en el laboratorio. El acceso al simulador debe estar integrado en la página web, preferentemente a través de enlaces a la plataforma de aplicaciones y software MyApps de la Universidad Rey Juan Carlos. Debe ser fácil de manejar (accesible con un pequeño videotutorial de 5-6 minutos de duración) y debe proporcionar en la medida de lo posible una experiencia cercana al manejo de la instalación en el laboratorio.
- El laboratorio virtual debe servir de entrenador efectivo para alumnos y profesores antes de una práctica.
- Así mismo, la utilidad del simulador debe extenderse durante la realización de la práctica presencial, por ejemplo, como medio para poder repetir medidas realizadas en el laboratorio que se desvíen de la tendencia y no se detectaran durante la realización de la práctica.
- El laboratorio virtual debe proporcionar una alternativa para la realización de seminarios y/o actividades complementarias a los laboratorios experimentales. Esto ha sido de especial relevancia durante el curso 2020/21 debido a las especiales condiciones en los que se impartieron las clases debido a la emergencia sanitaria derivada del COVID-19.

## Metodología

La actividad de laboratorios virtuales se implantó en dos fases diferenciadas durante el curso 2020/21. En una primera fase (Fase I), se desarrollaron las páginas web con todos los contenidos y los simuladores para las prácticas de Pérdida de Carga en Tubería I (MF-PCT I) y Canal Abierto (MF-CAN), correspondientes a las prácticas de laboratorio de la asignatura de ingeniería de fluidos del Grado GIOI-Vicálvaro y GIEIA de Móstoles, impartidas en el primer cuatrimestre del curso. En ambos casos se informó a los alumnos de la actividad, que se ofertó como un complemento al guion tradicional de los laboratorios, de carácter completamente voluntario. En el caso de la asignatura de GIOI-Vicálvaro, el simulador solo estuvo disponible bajo descarga desde la página web de la práctica, mientras que en la asignatura de GIEIA el simulador también estuvo disponible en la plataforma MyApps de la universidad.

En una segunda fase (Fase II), la actividad se implementó en la asignatura mecánica de fluidos de los grados GIAVA, GIAA y GIATA del Campus de Fuenlabrada, durante el segundo cuatrimestre. En este caso, debido a las limitaciones de aforo, al volumen de alumnos, y a la planificación propia de la Escuela Superior de Ingeniería de Telecomunicaciones, se acordó con los Coordinadores de Grado sustituir los seminarios

experimentales (2 seminarios de 2 h de duración) por dos actividades de laboratorio virtual, en concreto con las prácticas de MF-PCT I y con otra práctica nueva desarrollada para esos grados: Túnel de Viento (MF-TV).

Al tratarse de una actividad sustitutiva del seminario presencial, la realización del laboratorio virtual tuvo carácter obligatorio. Por ello, el alumnado dispuso del acceso a los simuladores en MyApps desde el inicio de la asignatura permitiendo su familiarización con el entorno de simulación antes de la realización de la actividad, que tuvo carácter no presencial y asíncrono, durante dos semanas seleccionadas, una por cada práctica.

### **Descripción general de los recursos implicados en una práctica del laboratorio virtual FLU-LABVIR**

El guion web está organizado de forma muy similar a un guion tradicional en cuanto a su estructura, con una sección de introducción y fundamento teórico, descripción de la instalación experimental, procedimiento experimental para manejo y toma de datos, cálculos y consejos para realizar la discusión (a veces incluso una plantilla, por ejemplo, en el caso de MF-PTC I). La novedad radica en la posibilidad de incluir mucho más material audiovisual atractivo para el estudiante, en forma de videos, animaciones, fotografías de instalaciones o ejemplos reales, o enlaces de interés (Figuras 3 y 4).



Figura 3. Esquema de componentes de una práctica en formato de laboratorio virtual

**1. FUNDAMENTO TEÓRICO**

**a)** El transporte de muchas materias se hace mediante conducciones por flujo interno... **REGIMEN DE CIRCULACIÓN LAMINAR Y TURBULENTO**... **Experimento de Reynolds:**  $Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu}$ ... **1.1. Ecuación de Bernoulli**... **ENSAYOS DE LA CDLA DE UN BOEING 757 A ESCALA REAL (1:1) EN EL TÚNEL DE VIENTO MÁS GRANDE DEL MUNDO...**

**b) Energía específica**... **CONTROL Y MEDIDA DEL FLUJO**... **Distribución des pressions sur la sphère lisse en sous-critique et supercritique (D'après Achenbach)**

**c)** Videos y enlaces de interés

Gráficos y figuras propias

Video explicativo

Imagen de aplicación real

Curiosidades

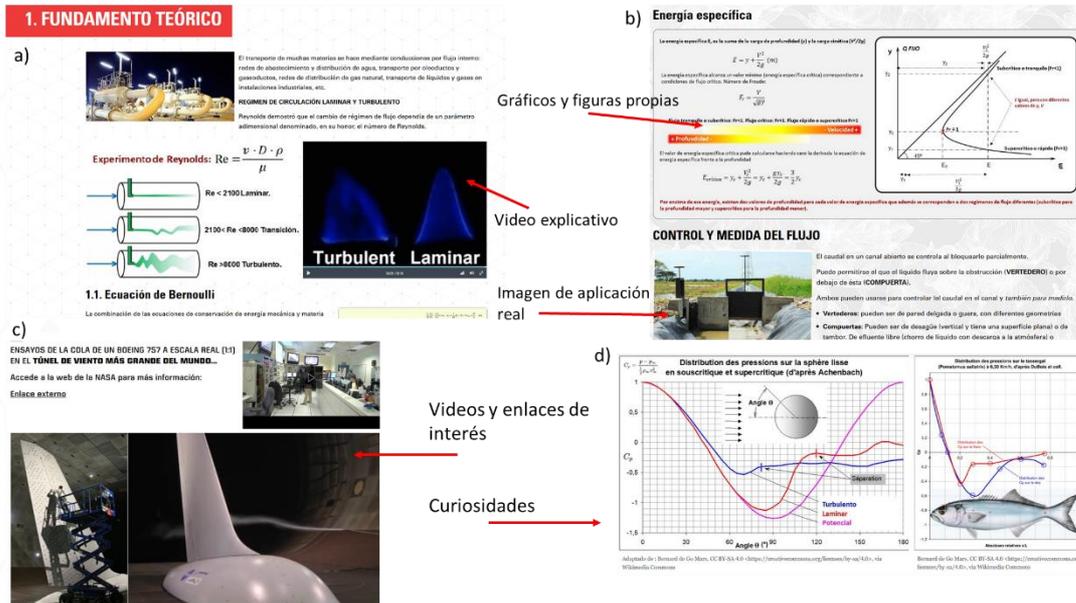


Figura 4. Ejemplo de contenidos en las páginas de las prácticas MF-PCT I (a), MF-CAN (b) y MF-TV (c y d)

Así mismo, en la sección de instalación experimental se incluye un video explicativo de cómo manejar la práctica, la toma de datos y el uso seguro de la instalación, realizado por profesores de prácticas especialistas en las mismas. Los enlaces a las páginas se muestran a continuación, dado que son un material que se ha decidido dejar disponible para cualquier usuario interesado:

MF-PCT-I: <https://sway.office.com/4U91ClxmPI4NolZA?ref=Link>

MF-CAN: <https://sway.office.com/4U91ClxmPI4NolZA?ref=Link>

MF-TV: <https://sway.office.com/tziJVkOkH4t2PPxM?ref=Link>

El acceso general a la página FLU-LABVIR está disponible a través del siguiente enlace: <https://www.gid-simip.com/laboratorios-virtuales/>

Por último, se incluye el enlace a un video que resume de la estructura de los laboratorios virtuales, que forma parte de una presentación realizada en la Jornada de Innovación Docente en Ingeniería Química: Metodologías adaptada a la docencia semipresencial, organizado en la Universidad Rey J en noviembre de 2021: <https://youtu.be/39SU5fdAtMo>

El guion web incorpora una sección adicional dedicada al simulador, con un enlace a MyApps, un enlace al archivo de descarga, y un video tutorial de uso del programa, así como un enlace a la encuesta de cada

práctica. En cuanto al simulador inmersivo, se intenta que en la interfaz gráfica se reconozcan claramente todas las partes de la instalación, así como el manejo de la misma (orden de las operaciones de arranque y apagado, uso de elementos de medida, etc.), tal y como se muestran en las Figuras 5 a 7.

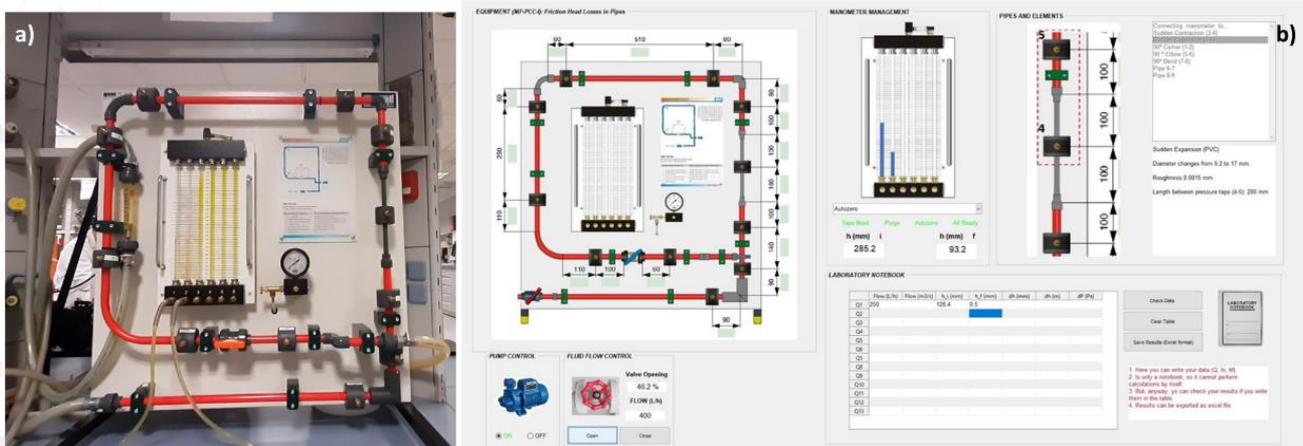


Figura 5. Comparativa entre a) la instalación experimental de Pérdida de Carga en Tubería I (MF-PCT I) y b) el simulador inmersivo preparado para esa práctica

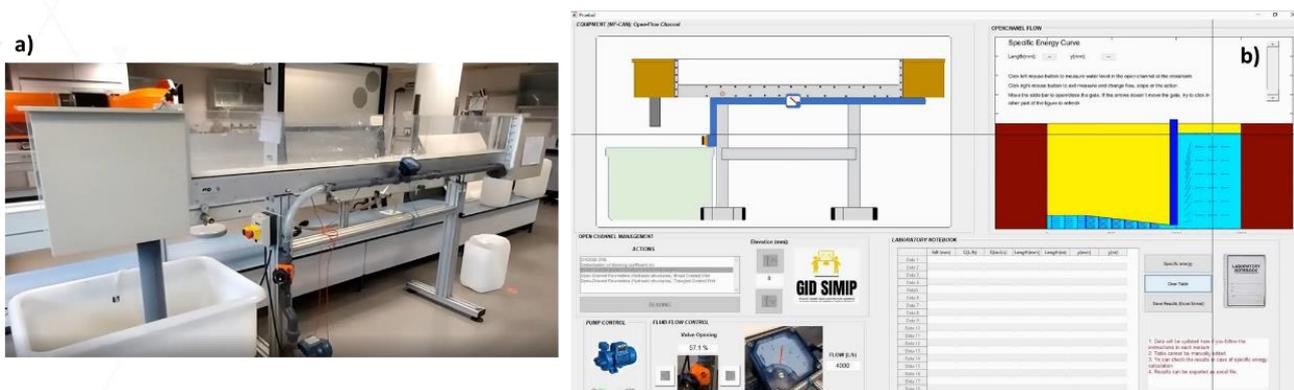
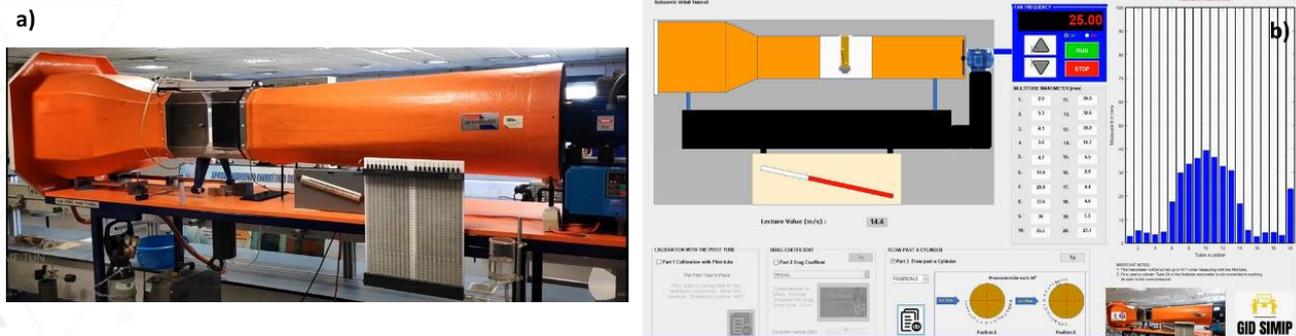


Figura 6. Comparativa entre a) la instalación experimental de Canal Abierto (MF-CAN) y b) el simulador inmersivo preparado para esa práctica



**Figura 7.** Comparativa entre a) la instalación experimental de Túnel de Viento (MF-TV) y b) el simulador inmersivo preparado para esa práctica

Para la confección del guion web se ha utilizado el programa Microsoft Sway, disponible para la comunidad universitaria dentro de la herramienta Office 365. Este software es una alternativa sencilla para crear y compartir informes interactivos como el guion web de la práctica, que permite añadir texto, imágenes y videos de forma simple e intuitiva. Para los contenidos audiovisuales se han utilizado preferentemente repositorios de imágenes y videos de libre distribución o con licencias *Creative Commons* debidamente acreditadas en la web, como *Wikimedia Commons*, *Freepik.com* o similares. Las tablas y figuras de creación propia se han realizado utilizando Microsoft PowerPoint y Microsoft Word, también dentro del paquete de Office 365. Los videos de las prácticas, así como las imágenes, etc., son de creación propia, fundamentalmente con aplicaciones móviles. La encuesta final a los alumnos después de cada práctica se diseñó mediante Microsoft Forms, también del paquete Office 365. La programación del simulador se ha realizado con la aplicación Matlab 2019, disponible en la plataforma MyApps. Los videos tutoriales de uso de cada simulador se han grabado y editado con la versión libre del programa VSDC Free Video Editor. La música dentro de los videotutoriales corresponde a composiciones de <https://patrickdearteaga.com>, música libre de derechos y gratis, convenientemente acreditada. Finalmente, el simulador está disponible dentro de la plataforma MyApps de la Universidad Rey Juan Carlos, y también en versión para descargar.

## 4. Resultados

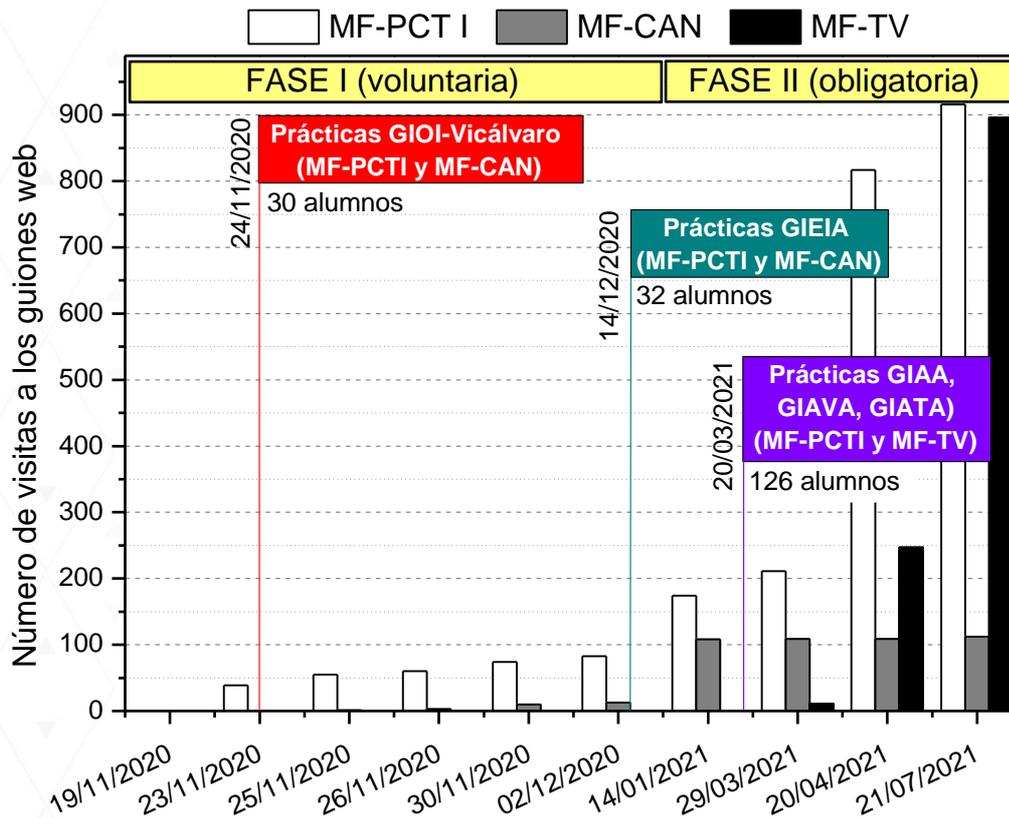
### Metodología del análisis

El análisis y evaluación del impacto de la práctica para los alumnos se realizó de dos formas diferentes. Por un lado, se realizó un seguimiento del número de vistas a los guiones web de los laboratorios virtuales, utilizando las herramientas de análisis disponibles a través del propio software Microsoft Sway utilizado para la programación. Por otro, se prepararon encuestas a los alumnos al final de cada práctica para recopilar información acerca de la percepción que habían tenido sobre la utilidad de la actividad, la facilidad de manejo de la web, y las características del simulador inmersivo como complemento al guion de prácticas.

En las dos fases, se incluyó como parte del guion web una encuesta con el objetivo de evaluar el grado de satisfacción de los alumnos con la actividad de laboratorios virtuales, indicando los puntos más fuertes y también más débiles según su opinión como destinatarios finales de la actividad. Las valoraciones de los estudiantes fueron muy positivas en las dos fases. Durante la primera fase, los estudiantes consideraron la actividad un buen complemento para el aprendizaje de la práctica antes de utilizarla en el laboratorio, indicando que el guion les parecía más completo y atractivo. Los comentarios negativos vinieron derivados con ciertos problemas a la hora de descargar el simulador, que se solucionaron cuando estuvo disponible en MyApps. Es de destacar que, durante esta etapa una alumna fue contacto estrecho con un positivo COVID-19, realizando una de las prácticas de laboratorio a través del laboratorio virtual como plan de contingencia. Durante la segunda fase, los comentarios también fueron muy positivos. Los alumnos destacaron que, aunque siempre es preferible realizar presencialmente la práctica experimental, el simulador inmersivo les parecía un buen sustituto, y la página web accesible y fácil de usar. Las notas más negativas fueron con la web de MF-TV, en la que se optó por un diseño de página horizontal en lugar de vertical, lo que hacía más difícil su utilización (se ha solucionado en la versión final de la web). Los estudiantes que realizaron la práctica experimental y usaron el simulador en la primera fase, y los alumnos repetidores que tenían experiencia con la práctica experimental de cursos pasados, destacaron que reproducía de forma muy aceptable el manejo (etapas, dispositivos, etc) de la instalación experimental, y en algún caso utilizaron el simulador para obtener datos adicionales para preparar el informe final de las prácticas.

### Resultados y discusión

En la Figura 8 se muestra la evolución del número de vistas de cada página, así como el inicio de cada turno de prácticas y el número de alumnos de las asignaturas en las que se implementó la actividad, tanto en Fase I como en Fase II.



**Figura 8.** Evolución del número de vistas a las actividades de los 3 laboratorios virtuales (MF-PCT I, MF-CAN y MF-TV) durante el curso 2020/21, en el ámbito de las asignaturas de Ingeniería de Fluidos (GIOI-Vicálvaro y GIEIA) y Mecánica de Fluidos (GIAA, GIAVA y GIATA)

El número de visitas para las prácticas MF-PCT I y MF-CAN fue creciendo paulatinamente durante la Fase I, llegando a ser consultadas un total de 174 y 108 veces, respectivamente al finalizar el cuatrimestre. De las 174 visitas correspondientes a la práctica de MF-PCT I, 28 correspondieron a una lectura en profundidad (evaluada por el tiempo de permanencia en la página), mientras que 57 visitas fueron para una lectura rápida pero completa y 89 correspondieron a una lectura ligera. El tiempo de permanencia medio en la página fue de 5 minutos.

En el caso de la práctica MF-CAN, la página se visitó 108 veces al final del cuatrimestre, de las cuales 24 visitas fueron para una lectura en profundidad, 51 para una lectura rápida completa y 33 para un vistazo rápido. El tiempo medio de permanencia en la página fue de 6 minutos.

La Fase I correspondió a una etapa en la que los laboratorios virtuales se estaban acabando de desarrollar, y los enlaces de los simuladores a MyApps no estuvieron activos hasta casi finalizar las prácticas. Así mismo,

se publicitó entre los alumnos como una actividad de carácter voluntario, para recabar información de ellos como usuarios finales, de ahí el alto número de visitas correspondientes a un vistazo rápido. Es de destacar que estas visitas rápidas se realizaron fundamentalmente al comienzo de los turnos de prácticas, mientras que las visitas en profundidad corresponden con periodos cercanos a la fecha de entrega de los informes de laboratorio por parte de los alumnos. En cualquier caso, destaca el elevado número de visitas por cada práctica, si tenemos en cuenta el número máximo de alumnos a los que podrían ir destinados (unos 60 entre las dos prácticas)

Durante la Fase II, la actividad de laboratorio virtuales pasó a ser el plan de contingencia de los seminarios experimentales de la asignatura de Mecánica de Fluidos, con lo que su realización fue ser obligatoria. En esta asignatura los laboratorios virtuales corresponden a las prácticas MF-PCT I y MF-TV. Destaca como, para un número máximo de alumnos de 126 entre las dos prácticas, se superan las 800 visitas a las páginas (916 en el caso de MF-PCT y 896 para MF-TV). En el caso de la práctica MF-PCT, están incluidas las visitas durante la Fase I. Para esta práctica, 201 visitas correspondieron a una lectura en profundidad, 367 a una lectura rápida completa y 348 a un vistazo rápido. El tiempo medio de permanencia en la página fue de 17 minutos. En el caso de la práctica MF-TV, 39 visitas corresponden a una lectura en profundidad, 387 a una lectura rápida completa y 470 a un vistazo rápido. El tiempo medio de permanencia en este caso fue de 14 minutos.

Aunque las dos páginas cuentan con un elevado número de visitas por alumno (alrededor de 7), llama mucho la atención el bajo número de visitas en las que se realizó una lectura en profundidad de la página web MF-TV (39) frente a las que se realizaron a la página de la práctica MF-PCT I (201). Un posible motivo fue el cambio de formato entre ambas páginas. La página de la práctica de Túnel de Viento MF-TV fue la última diseñada, y se optó por un cambio de formato de vertical (utilizado en el resto de las páginas) a horizontal. Durante el análisis de las encuestas de cada práctica, los alumnos manifestaron que el formato horizontal era menos visual y fluido que el vertical, lo que hacía que la página a veces no avanzara correctamente entre los diferentes apartados. Por ello, los alumnos accedían de forma directa a las secciones que les iban interesando en lugar de pararse a una lectura completa, que les resultaba más compleja debido a esos problemas técnicos. La página se cambió a formato vertical a raíz de esos resultados de la encuesta. También hay que destacar que, en esa práctica, el contenido teórico se ha reducido en favor de más contenido visual: videos, animaciones, etc., lo que puede haber influido en una lectura en profundidad de algunas partes de la web.

Finalmente, se realizó una encuesta a los alumnos al finalizar la actividad para recopilar información alrededor de tres aspectos fundamentales: el guion online y el manejo de la web de la práctica; la utilidad de esta actividad como complemento para realizar la práctica presencial; y la opinión de cada alumno (aspectos que

le habían gustado y aspectos a mejorar). Las preguntas podían valorarse desde 1 (completamente en desacuerdo) a 5 (completamente de acuerdo). Las cuestiones concretas de la encuesta se muestran en la Tabla 1, y los resultados de algunas de las preguntas se muestran en las Figuras 9 y 10.

**Tabla 1.** Cuestionario de la encuesta para las prácticas del laboratorio virtual

### **PRÁCTICA VIRTUAL PARA LA QUE VA A REALIZAR LA ENCUESTA**

Seleccione la práctica virtual sobre la que desea realizar la encuesta:

- MF-PCT I
- MF-CAN
- MF-TV

### **SOBRE EL GUIÓN ONLINE Y LA WEB**

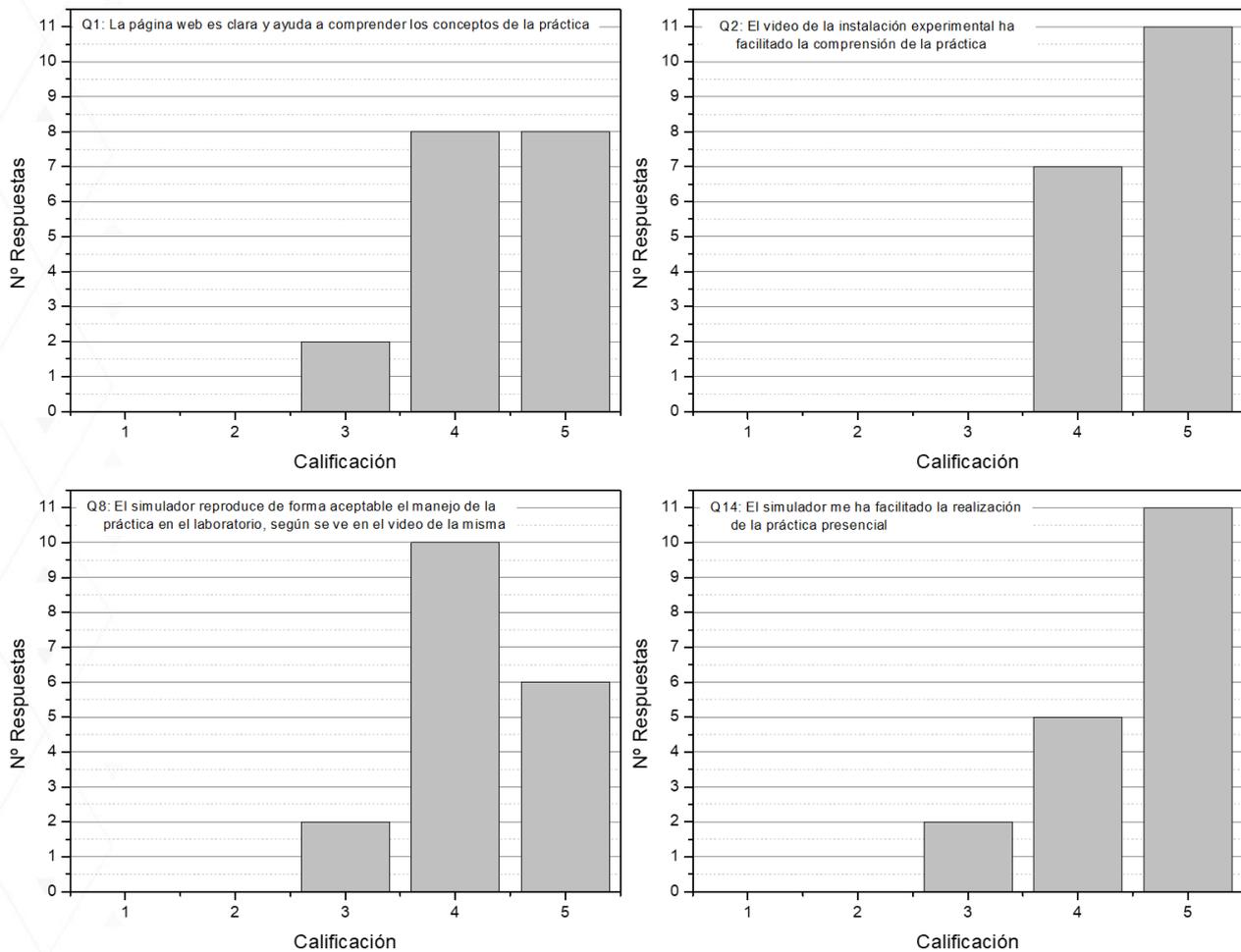
1. La página web es clara y ayuda a comprender los conceptos de la práctica.
2. El video de la instalación experimental ha facilitado la comprensión de la práctica.
3. El video tutorial del simulador me ha permitido manejar el programa sin dificultad.
4. He instalado el simulador sin problemas /no he tenido problemas con el acceso por Myapps.
5. El simulador me ha sido fácil de manejar y entender.
6. La práctica virtual me ha permitido aprender conceptos nuevos mediante el guion web y/o en el desarrollo de la simulación.
7. La práctica virtual me ha permitido afianzar conceptos que ya tenía mediante la aplicación práctica de los mismos.
8. El simulador reproduce de forma aceptable el manejo de la práctica en el laboratorio, según se ve en el video de la misma.
9. El guion web y el simulador son una alternativa para el estudio de algunas partes de la asignatura.

### **SOBRE LA UTILIDAD A LA HORA DE HACER LA PRÁCTICA PRESENCIAL**

10. El simulador reproduce adecuadamente el funcionamiento de la práctica presencial en el laboratorio.
11. Practicar con el simulador me ha ayudado a manejar la práctica en el laboratorio.
12. Practicar con el simulador me ha ayudado a entender las medidas que hay que realizar.
13. El simulador me ha permitido validar mis resultados y/o obtener algún punto adicional de medida.
14. El simulador me ha facilitado la realización de la práctica presencial.
15. El simulador me ha facilitado la preparación del informe.

### **OTROS ASPECTOS**

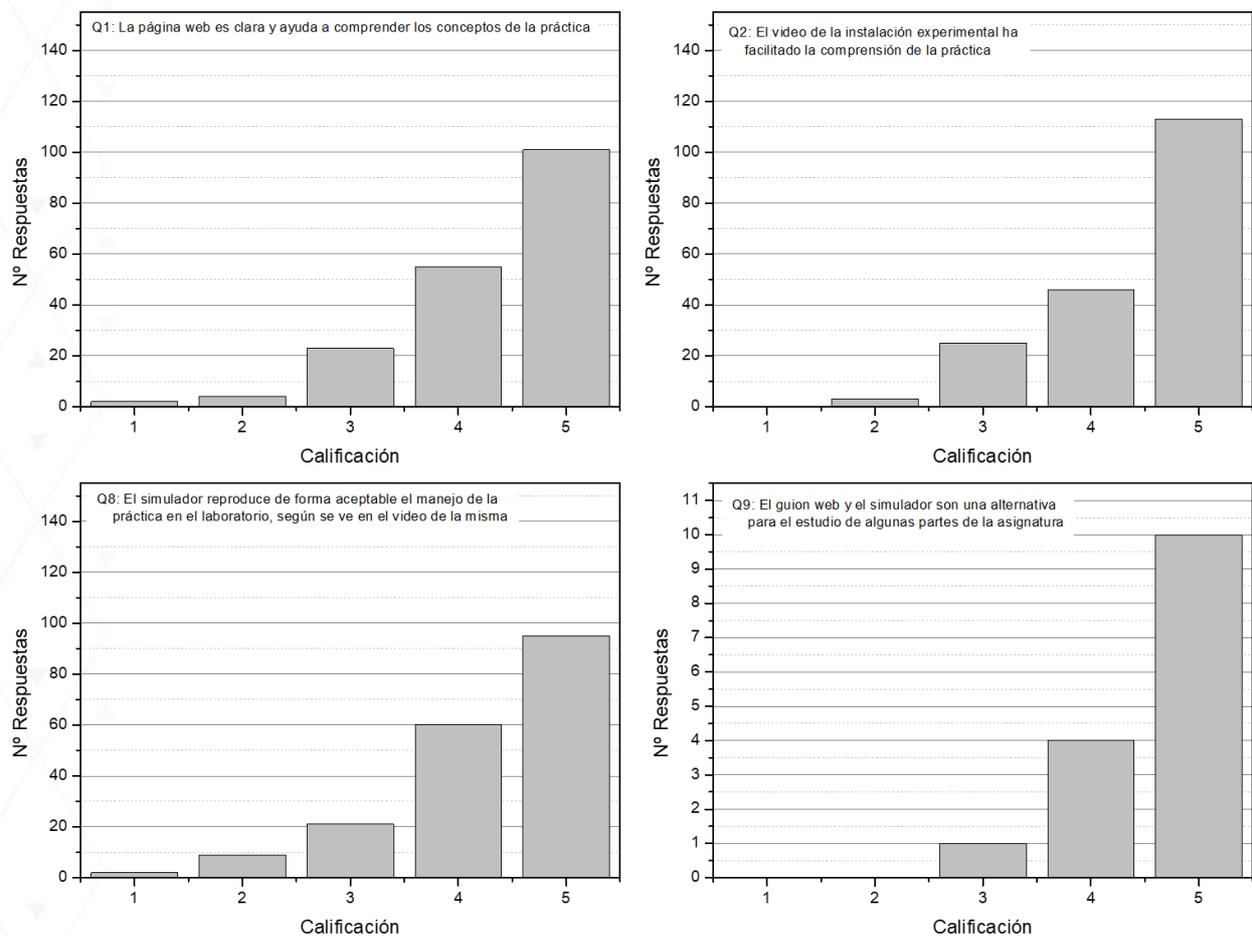
16. Otros comentarios que desee añadir.



**Figura 9.** Resultados más relevantes de las encuestas realizadas durante el primer semestre (asignatura de ingeniería de fluidos, 18 respuestas de un total de 50 alumnos, FLU-LABVIR como complemento de las prácticas experimentales)

En general, los resultados de las encuestas mostraron un elevado grado de satisfacción con la actividad de laboratorios virtuales como complemento de los laboratorios experimentales. Como resultados más destacados, más del 90% de las encuestas puntuaron con 4-5 las preguntas 1 y 2 (La página web es clara y ayuda a comprender los conceptos de la práctica; El video de la instalación experimental ha facilitado la comprensión de la práctica). En cuanto al uso del simulador, entre un 50 y 60 % puntuó con 4-5 las preguntas 3 y 5 (El video tutorial del simulador me ha permitido manejar el programa sin dificultad; El simulador me ha sido fácil de manejar y entender). En cuanto a la característica inmersiva del simulador, entre un 70 y 100 % de los alumnos que realizaron también la práctica experimental, durante el curso 2020/21, o en cursos

anteriores (es decir, alumnos repetidores) puntuaron con 4-5 la pregunta de si el simulador reproduce adecuadamente el funcionamiento de la práctica presencial en el laboratorio, y si el simulador le había facilitado el uso de la instalación experimental, y entender las medidas a realizar. Finalmente, entre un 70 y un 80 % puntuaron con 4-5 la pregunta acerca de si la práctica virtual había permitido aprender conceptos nuevos mediante el guion web y/o en el desarrollo de la simulación.



**Figura 10.** Resultados más relevantes de las encuestas realizadas durante el segundo semestre (asignatura de mecánica de fluidos, 187 respuestas de un total de 100 alumnos, 2 encuestas por alumno, una por cada práctica realizada, FLU-LABVIR como actividad obligatoria)

Dentro de los comentarios y opiniones de los alumnos, durante la Fase I el mayor inconveniente que vieron los estudiantes fue el tener que descargar el simulador e instalarlo en su ordenador. En algún caso se vio que había cierta confusión entre haber usado Matlab para programar el simulador, y necesitar dicho programa para ejecutarlo (algo que no era necesario dado que se generaron versiones instalables autónomas). Algunos de los comentarios fueron:

- *“Tuve un ligero problema al descargar la aplicación ejecutable. Windows notificaba de que podía ser malicioso y/o que la fuente no era fiable (...) Una vez descargado el archivo .exe la instalación fue sencilla”*
- *“No llegué a descargarme el simulador, porque no tengo Matlab en mi ordenador”*
- *“Instale el programa en el ordenador, y en un principio no se ejecutaba, pero la página web ha sido de gran ayuda. ¡Gracias!”*
- *“Muchas de mis bajas puntuaciones son porque no localizaba el simulador, pero sí vi los videos y la pagina, lo veo muy bien de cara a un futuro”.*

En la Fase II, ese problema se solucionó alojando los simuladores en MyApps. En este caso, algunos comentarios negativos surgieron del hecho de no haber podido realizar las prácticas experimentales de forma presencial, aunque es algo que escapaba al control y al alcance de la actividad y del profesorado, dependiendo de la organización de la Escuela de Telecomunicaciones:

- *“Me habría gustado poder realizarla de forma presencial, de esta forma se resuelven más dudas y los conceptos se explican desde distintos puntos de vista que pueden ayudar. Además, se extraña el trabajo en equipo con otros compañeros. Aun así, debido a la situación, bastante bien resuelto”.*
- *“El simulador está muy bien, pero no sustituye las prácticas presenciales al 100%”*

En cualquier caso, eso demuestra el potencial de los laboratorios como complemento, pero en ningún caso sustituto, de los laboratorios experimentales. Incluso teniendo en cuenta eso, los comentarios fueron mayoritariamente positivos, como muestran los siguientes ejemplos:

- *“El guion me ha parecido muy claro, muy bien explicado; el formato, al permitir videos, me ha facilitado la comprensión.”*
- *“La práctica me ha ayudado a afianzar conceptos de la teoría de la asignatura por lo que la considero muy útil.”*
- *“El simulador me ha parecido muy fácil de usar, claro y que ayudaba a la comprensión del funcionamiento real de la instalación. A veces en los laboratorios repetimos pasos como autómatas, pero no sabemos qué estamos haciendo; la forma en la que estaba hecho el simulador (por pasos y con desmonte de partes según lo que querías estudiar) me ha permitido comprender el proceso que habría que seguir en una medición en instalación real”*

- *“Creo que sería de gran ayuda utilizar este simulador como método de entrenamiento para la realización de la práctica presencial cuando se vuelva a la normalidad”.*
- *“La nueva modalidad “online” de realizar esta práctica resulta muy efectiva. Se agradece mucho el esfuerzo del equipo y profesorado por adaptar unas prácticas siempre necesarias a los tiempos desafortunados que nos toca vivir. El simulador y toda su explicación da un resultado muy beneficioso para el alumnado.”*
- *“Guion muy claro, contextualizaba la práctica, te permitía un seguimiento fácil y una comprensión adecuada de los conceptos teóricos en los que se basa la práctica. Muchas veces vamos a los laboratorios a seguir unos pasos, pero sin saber qué estamos midiendo exactamente o por qué; esto no pasaba con la práctica del simulador.”*

Los resultados de las encuestas muestran una buena acogida de la actividad de laboratorios virtuales por parte de los alumnos. De forma mayoritaria, la percepción de los estudiantes es que facilita el entendimiento de las prácticas experimentales, tanto el manejo de la instalación como las medidas y cálculos a realizar, siendo un buen complemento a su experiencia de aprendizaje.

## Conclusiones

Durante el curso 2020/21 la actividad de Laboratorios Virtuales se pudo implementar tanto como una actividad complementaria a los laboratorios de prácticas experimentales (Fase I) como en forma de actividad obligatoria independiente, para realizar en remoto asíncrono (Fase II). La experiencia de los profesores y los alumnos involucrados en la actividad muestran que la percepción que tienen de los laboratorios virtuales es la de un buen complemento a los guiones de laboratorios y una forma de acercarse en un primer momento al manejo de las instalaciones experimentales, tanto para estudiantes como para profesores de prácticas noveles. El guion web facilita el entendimiento de la parte teórica y de la parte experimental de las prácticas de laboratorio. Los videos de la propia instalación son muy valorados por los estudiantes. Por otro lado, los alumnos que han realizado la práctica experimental confirman que el simulador facilita la comprensión y manejo de la instalación en el laboratorio.

Los laboratorios virtuales tienen también potencial como herramienta para la realización de seminarios que complementen las diferentes asignaturas con prácticas experimentales, en concreto, compensando las limitaciones de aforo habituales en las prácticas de laboratorio. De este modo, los alumnos tendrán acceso a instalaciones experimentales, pero también a una aproximación al manejo de otras instalaciones no disponibles por problemas de horarios, etc. Esto ha sido especialmente útil durante el curso 2020/21, donde, debido a las limitaciones de aforo y las restricciones de acceso impuestas por la emergencia sanitaria del COVID 19, ha sido una alternativa para la realización de actividades de laboratorio, no accesibles por el aforo y el número de alumnos de los grupos de prácticas, y también en caso de confinamiento parcial o total de alumnos y profesores.

## 5. Equipo docente



### **Ana Belén Cruz del Álamo**

Doctorado con Mención Internacional de Doctora en Ingeniería Química por la URJC (2020).

He participado en 6 proyectos de investigación que han dado lugar a la publicación de 8 artículos en revistas de alto índice de impacto (Q1), 1 de divulgación científica y 29 contribuciones a congresos internacionales y nacionales. Primer premio en el Concurso de Tesis en 3M, premio a la mejor ponencia en el congreso internacional EAAOP-5 y premio a la mejor Tesis Doctoral por el Consejo Social de Jóvenes Investigadores de la URJC. En 2018, realicé una estancia predoctoral en la DTU y, en 2021, una postdoctoral en la Universidad de Vigo. Evaluación positiva para las figuras de profesora Ayudante Doctor, Contratada Doctor y de Universidad Privada por el comité de Enseñanzas Técnicas de la ANECA. Mis labores docentes incluyen más de 120 horas de docencia teórica y 700 horas de docencia en prácticas en grados de Ingeniería.



### **Pedro Julio Megía Hervás**

Doctor en Ingeniería Química por la Universidad Rey Juan Carlos (2020). Su actividad

investigadora, iniciada en el año 2016, se ha centrado en la producción de hidrógeno renovable por reformado con vapor de fracciones acuosas obtenidas a partir de tratamientos térmicos de residuos agroforestales. Derivado de ello, ha publicado 8 artículos científicos en diversas revistas científicas de reconocido prestigio. Cuenta con numerosas contribuciones a congresos en su mayoría, charlas orales a nivel internacional. Su investigación se encuadra dentro de 4 proyectos de financiación pública obtenidos a través de convocatorias competitivas. Además, ha realizado una estancia predoctoral de 3 meses en la Università degli studi di Salerno (Italia) bajo la supervisión del Prof. Dr. Vincenzo Palma.



### **Jorge Plaza Morales**

Ingeniero Químico titulado por la UCLM, con dos masters relacionados con dicho campo, el primero de ellos Máster Universitario en Ingeniería de Procesos Químicos y Ambientales y, el segundo, Máster Universitario en Ingeniería y Gestión Medioambiental. Doctor en

Ingeniería Química por la Universidad Rey Juan Carlos en materia de procesos fotocatalíticos para la degradación de contaminantes orgánicos. Con varios años de experiencia en investigación, formando parte del equipo investigador en el proyecto europeo CISTEM de pilas de combustible y otros proyectos

relacionados con el tratamiento de aguas como REMTAVARES y SusWater. Como perfil docente presenta varios años de experiencia (desde 2016 hasta la actualidad) en asignaturas relacionadas con Ingeniería de Fluidos, Ingeniería de Procesos y Tecnologías Medioambientales.



### **Cintia Casado Merino**

Profesora Ayudante Doctor en la Universidad Rey Juan Carlos (URJC), licenciada en Ingeniería Química y tiene un Máster en Tecnología y Recursos Energéticos. Defendió su tesis doctoral en abril de 2017, centrada en el modelado computacional de reactores fotocatalíticos. Ha sido investigadora visitante en *School of Engineering and Applied Sciences* (Harvard University, EEUU), *Department of Civil and Environmental Engineering* (Massachusetts Institute of Technology, EEUU) y en *Department of Chemical Engineering and Biotechnology* (Cambridge University, UK). Como resultado de su trabajo de investigación, ha participado en 10 proyectos de investigación, es autora o co-autora de más de 20 publicaciones científicas, muchas en colaboración con otros centros de investigación, y de más de 40 contribuciones a congresos, la mayoría contribuciones orales en congresos internacionales. Respecto a la docencia, ha acumulado más de 1100 horas de docencia y ha supervisado a 14 estudiantes durante sus trabajos fin de carrera o máster



### **Rafael Constantino Van Grieken Salvador**

Licenciado en Ciencias Químicas y Doctor en Química Industrial por la Universidad Complutense de Madrid. Profesor Titular de Universidad en la Universidad Complutense de Madrid y Catedrático de Universidad desde 2002 en la Universidad Rey Juan Carlos. Ha desarrollado su actividad académica también a través de estancias de investigación, entre ellas, en la universidad de Stanford y Santa Barbara, ambas en California. Su docencia ha estado centrada en la tecnología química y ambiental, fundamentalmente en Operaciones de Separación, los procesos de tratamiento de efluentes y la tecnología de polímeros. Ha dirigido a lo largo de estos años 20 tesis doctorales y numerosos trabajos fin de Máster y Grado, además de los extinguidos trabajos fin de carrera. Vicerrector de Investigación (2002-2012), director de la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA, 2012-2015, Presidente de la Asociación Europea de Acreditación (ECA, 2014-2015) y Consejero de Educación, Juventud y Deportes de la Comunidad de Madrid (2015-2019).



### **Raúl Molina Gil**

Profesor Titular del Área de Mecánica de Fluidos del Departamento de Tecnología Química y Ambiental de la Universidad Rey Juan Carlos. Ingeniero Químico por la Universidad Complutense de Madrid (2000) y Doctor en Ingeniería Química por la Universidad Rey Juan Carlos (2006). Es responsable de las asignaturas y laboratorios experimentales de Ingeniería de Fluidos y Mecánica de Fluidos en diferentes Grados de la Universidad Rey Juan Carlos desde el año 2006. Coordinador del Grupo de Innovación Docente GID-SIMIP (**Grupo de Innovación Docente** para el desarrollo y aplicación de nuevas herramientas de **SIMulación en Ingenierías de Procesos**) y responsable de las tareas de programación de simuladores enfocados a la actividad docente, su implantación en las prácticas de diferentes asignaturas, y su aplicación como herramienta de Trabajos Fin de Grado, en los Grados de Ingeniería Ambiental, Ingeniería de Organización Industrial, Ingeniería de Química e Ingeniería Aeroespacial en Aeronavegación, entre otros. Autor de diversas publicaciones docentes orientadas al diseño e implementación de herramientas de simulación (*BioReSIM*, *KMS platform* y *KBR simulator*) en actividades docentes en el ámbito de la Ingeniería Química, de la Energía y Ambiental.