

# Resultados de aprendizaje de propuesta educativa basada en el uso del software libre de simulación para la enseñanza de motores de combustión interna alternativos en grados de ingeniería.

Jorge A. Valencia Santana<sup>a</sup>, Juan Carlos Lozano Medina<sup>a</sup>, Carlos A. Mendieta Pino<sup>b</sup>, Federico León Zerpa<sup>b</sup>, and Alejandro Ramos Martín<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Departamento de Ingeniería de Procesos, Campus Universitario de Tafira, Las Palmas de Gran Canaria (35017), España

<sup>b</sup>Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Instituto de Estudios Ambientales y Recursos Naturales (iUNAT), Campus Universitario de Tafira, Las Palmas de Gran Canaria (35017), España

## ABSTRACT

En este trabajo se presentan los resultados de una propuesta educativa orientada a la enseñanza y el aprendizaje de los motores de combustión interna alternativos (MCIA) en titulaciones de ingeniería, fundamentada en la aplicación del software libre de simulación *Diésel-RK* como herramienta de análisis termodinámico del ciclo completo y de optimización de parámetros geométricos, indicativos y efectivos. La iniciativa se ha evaluado a lo largo de tres cursos académicos consecutivos del grado de Ingeniería Mecánica -uno previo a su introducción, el de presentación y el de implantación definitiva-, lo que ha permitido valorar su impacto en la formación de competencias específicas en el área de máquinas y motores térmicos y en los resultados de aprendizaje. La metodología combina la modelización computacional con actividades prácticas de laboratorio y diversos instrumentos de evaluación, enmarcando la experiencia en un proceso de aprendizaje colaborativo, activo y significativo. En conjunto, la propuesta evidencia el potencial de las herramientas de simulación como recurso pedagógico innovador, capaz de favorecer la comprensión profunda de los principios termodinámicos y constructivos de los MCIA y de consolidar así la dimensión aplicada del conocimiento en estudios de grado en ingeniería, con posible transferencia a otros niveles formativos que deberá ser evaluada en trabajos futuros.

**Keywords:** Resultados de aprendizaje, simulación, Diésel-RK, MCIA, ingeniería industrial.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los motores de combustión interna alternativos (MCIA) han sido, durante décadas, el corazón de innumerables aplicaciones industriales y de transporte. Su fiabilidad, amplio rango de potencias y capacidad para operar con distintos tipos de combustible le han permitido consolidar su papel como una de las tecnologías más versátiles y esenciales en el ámbito energético y en el de la ingeniería mecánica [1, 2]. En el contexto actual, marcado por la búsqueda de sistemas sostenibles y el desarrollo de combustibles neutros en emisiones, estos motores afrontan una nueva etapa de transformación. Comprender los factores que condicionan su diseño y rendimiento se convierte, por tanto, en una competencia estratégica para los futuros profesionales de la ingeniería.

Bajo esta premisa, se comenzó a diseñar una propuesta educativa orientada al aprendizaje activo de los principios de diseño y funcionamiento de los MCIA, tomando como eje el uso del software libre *Diésel-RK*. Este programa permite simular el ciclo termodinámico completo de un motor, considerando los cilindros como sistemas abiertos e incorporando modelos avanzados de combustión, emisiones y transferencia de calor [3, 4]. Además, posibilita la optimización de parámetros geométricos y funcionales, la sincronización de válvulas, la gestión de la recirculación de gases de escape (EGR), el acoplamiento con turbocompresores y la modificación de los parámetros de inyección de combustible, entre otros. Su carácter abierto y su compatibilidad con plataformas como *Simulink*

---

E-mail: jorge.valencia.santana@ulpgc.es

lo convierten en un recurso de gran valor tanto para la docencia como para la investigación aplicada [5–10]. Esta experiencia tiene su origen en el trabajo previo desarrollado por Lozano et al. [11] en el que se introdujo el software *Diésel-RK* como herramienta formativa. Dicho trabajo demostró la utilidad del simulador termodinámico para favorecer la comprensión de los fundamentos de los MCIA y optimizar sus parámetros en un entorno de aprendizaje guiado. El presente estudio analiza esa propuesta desde una perspectiva longitudinal, en la que se han incorporado nuevos instrumentos de evaluación y un seguimiento sistemático del desempeño académico durante el curso de implantación de la experiencia.

Siguiendo el planteamiento inicial de Lozano y su equipo, la asignatura *Diseño de Equipos y Sistemas Térmicos*, correspondiente al tercer curso del Grado en Ingeniería Mecánica, se consolidó como el escenario principal de aplicación de la presente propuesta. Aunque su metodología podría extrapolarse a otros niveles formativos, el enfoque adoptado se centra en el aprendizaje práctico y reflexivo característico del nivel de grado. Antes de la implementación, el alumnado contaba únicamente con nociones básicas sobre los parámetros y ciclos de funcionamiento de un MCIA. La integración del software permitió profundizar en la comprensión de la interacción entre variables geométricas, funcionales y operativas, promoviendo una visión más global del diseño y el rendimiento del motor.

La metodología combina actividades prácticas en laboratorio apoyadas con el software, la elaboración de informes técnicos, el montaje y desmontaje de un MCIA y la aplicación de cuestionarios de evaluación inicial y final. Todo ello se enmarca en un enfoque de aprendizaje activo, reflexivo y colaborativo, donde el alumnado asume un papel protagonista en su proceso formativo y vincula la teoría con la simulación de situaciones reales de diseño y optimización.

Diversas investigaciones han evidenciado el valor pedagógico de los entornos de simulación en la enseñanza de la ingeniería, al facilitar la comprensión de sistemas complejos y ofrecer al alumnado la posibilidad de experimentar con variables de diseño en contextos controlados. El uso de estas herramientas de simulación favorece el aprendizaje activo, la toma de decisiones fundamentadas y el desarrollo de competencias transversales asociadas al análisis y la resolución de problemas. Por ejemplo, en el ámbito de la ingeniería térmica, programas como *MATLAB/Simulink*, *GT-Power* o *ANSYS* han demostrado su eficacia en la integración de teoría y práctica mediante la modelización de procesos reales [12, 13]. En este contexto, la incorporación de *Diésel-RK* como herramienta de simulación amplía dichas posibilidades, al permitir la modelización termodinámica completa del motor y fomentar un aprendizaje basado en la experimentación y la interpretación crítica de resultados.

El presente análisis constituye la evolución natural de la propuesta, desarrollada y adaptada en el marco de los Proyectos de Innovación Educativa para la Formación Interdisciplinar (PIEFI), Línea 3: Contenidos y programas de formación. Asimismo, se integra en la continuidad de los proyectos de innovación docente de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria que se han ido presentado desde 2022 hasta la fecha:

- *Laboratorios como entornos de trabajo para el aprendizaje activo y colaborativo mediante el diseño, desarrollo, construcción, utilización y rediseño de equipos y dispositivos para su aplicación en las prácticas.* (PIE 2022-60).
- *Aplicación de técnicas de aprendizaje activo y colaborativo en laboratorios como entornos de trabajo. Diseño, desarrollo y adaptación de equipos para su aplicación en sesiones de prácticas.* (PIE 2023-60).
- *Mejora del aprendizaje colaborativo en entornos de laboratorio mediante el uso de gemelo digital (Unilab)* (PIE-INT-2024-29).

y que continúa en el proyecto *Mejora del Aprendizaje colaborativo en entornos de laboratorio mediante la integración de simulación e Inteligencia Artificial (SIMULAB-IA)*. (PIE-INT-2025-07).

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Contexto educativo y participantes.

La experiencia se desarrolló en la asignatura *Diseño de Equipos y Sistemas Térmicos*, impartida en el tercer curso del Grado en Ingeniería Mecánica en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC). Se trata de una materia obligatoria de 4,5 créditos ECTS, integrada en el primer semestre, cuyo propósito es que el

alumnado adquiriera los fundamentos teóricos y prácticos necesarios para el análisis, cálculo y diseño de equipos y sistemas térmicos [1,2]. Entre las competencias específicas asociadas se encuentran el conocimiento aplicado de la ingeniería térmica (MTEM3) y el conocimiento de los fundamentos de los sistemas y máquinas fluido-mecánicas (MTEM6).

La propuesta se llevó a cabo con una media de 45 estudiantes por curso, distribuidos en seis grupos de trabajo de siete alumnos cada uno. En total, participaron 55 estudiantes en el curso 2022-2023 (previo a la propuesta), 42 en el curso 2023-2024 (año de presentación de la propuesta) y 45 en el curso 2024-2025 (año de implantación definitiva). Desde el inicio del semestre, se explicó al alumnado la estructura del proyecto, su vinculación con la asignatura y la importancia de las actividades prácticas. Durante todo el proceso, los estudiantes contaron con sesiones presenciales guiadas, tutorías personalizadas y asistencia remota a través de la plataforma *Microsoft Teams* y correo electrónico institucional [14-17].

## 2.2 Diseño y desarrollo de la propuesta formativa.

El diseño metodológico se basó en un enfoque de aprendizaje activo y aplicado [14-17], en el que el estudiante asume un rol protagonista en su proceso formativo. El objetivo principal fue integrar la teoría del funcionamiento de los motores de combustión interna alternativos (MCIA) con la práctica de simulación y análisis mediante el software libre *Diésel-RK*, favoreciendo la comprensión de los procesos termodinámicos que determinan el rendimiento, la potencia y la eficiencia de los motores [5-9].

La propuesta se estructuró en cinco fases secuenciales:

1. Cuestionario inicial (1 hora): diagnóstico de los conocimientos previos del alumnado sobre el ciclo y la distribución de los MCIA.
2. Sesiones de laboratorio (8 horas): explicación teórico-práctica del funcionamiento de los motores, con especial atención a las nociones de seguridad, desmontaje y montaje de componentes, e identificación de elementos constructivos.
3. Simulación en *Diésel-RK* (2 horas): introducción al entorno del programa, configuración de un motor diésel turboalimentado de cuatro tiempos y análisis de los parámetros geométricos y funcionales.
4. Cuestionario final (1 hora): evaluación de los conocimientos adquiridos sobre el software y los principios de simulación.
5. Elaboración de informes (8 horas): redacción de dos informes: el primero centrado en la guía de desmontaje y montaje del motor y el segundo en la simulación termodinámica, con interpretación de resultados, discusión y conclusiones.

Estas actividades, con un total de 18 horas de trabajo directo y autónomo, se desarrollaron desde el inicio del semestre, garantizando la conexión progresiva entre los contenidos teóricos impartidos en clase y su aplicación práctica.

## 2.3 Actividades formativas y herramientas empleadas.

Las actividades se diseñaron combinando clases teóricas, prácticas de laboratorio, tutorías y trabajo autónomo, tal y como se recoge en la guía docente de la asignatura. El manejo y la familiarización con *Diésel-RK* fue la columna vertebral del aprendizaje, permitiendo al alumnado modelar el ciclo termodinámico de un motor de combustión interna alternativo (MCIA) y analizar la influencia de parámetros como la relación de compresión, la presión media efectiva o la sincronización de válvulas de los motores que habían previamente desmontado y montado en el laboratorio. El programa, desarrollado por la Bauman Moscow State Technical University, se instala y descarga desde el sitio web oficial ([www.diesel-rk.bmstu.ru](http://www.diesel-rk.bmstu.ru)), permitiendo posteriormente trabajar de forma remota mediante conexión al servidor externo a través de Internet. Esta herramienta ofrece un entorno de simulación termodinámica avanzado que reproduce el comportamiento de motores de combustión diésel y gasolina con diferentes configuraciones geométricas, tipos de inyección y condiciones de operación, lo que favorece la comprensión experimental de los procesos de combustión, transferencia de calor y rendimiento [3, 4].

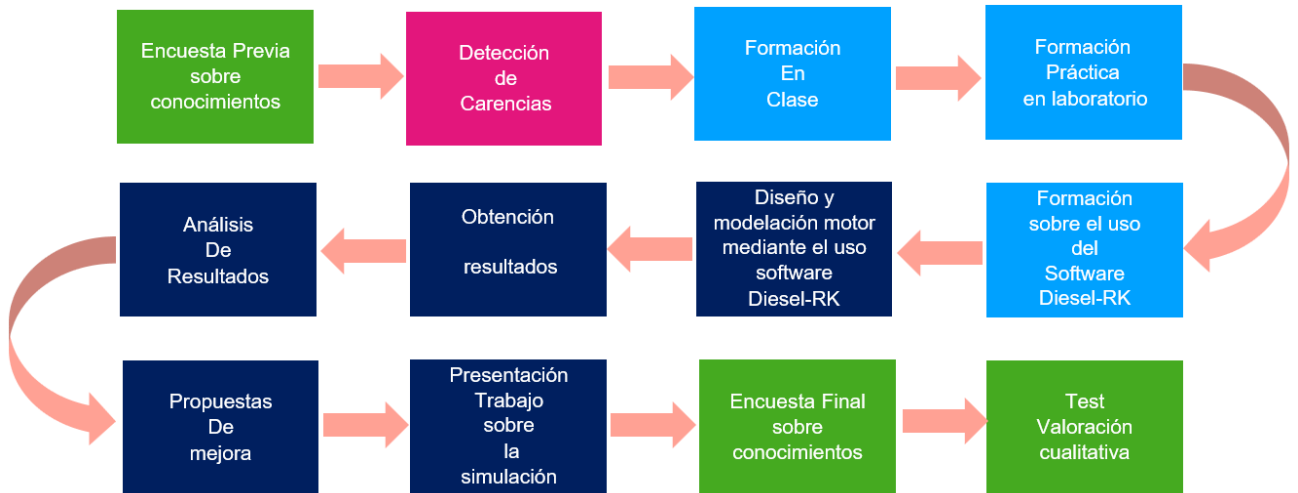


Figura 1. Esquema general del proceso de aprendizaje propuesto.

El alumnado trabajó de forma cooperativa, distribuyéndose las tareas según roles técnicos -análisis de datos, redacción de informes y supervisión de montaje-, mientras que el profesorado guió todo el proceso, asegurando la correcta comprensión del modelo y el uso seguro de los equipos de laboratorio. Además, las sesiones fueron complementadas con materiales didácticos, guías técnicas, vídeos demostrativos y manuales del software [14–16]. La experiencia se integró plenamente en la línea de innovación docente PIEFI – Línea 3: Contenidos y programas de formación, formando parte de los proyectos *Laboratorios como entornos de trabajo para el aprendizaje activo y colaborativo* (PIE 2022-60), *Aplicación de técnicas de aprendizaje activo y colaborativo en laboratorios como entornos de trabajo* (PIE 2023-60) [11] y *Mejora del aprendizaje colaborativo en entornos de laboratorio mediante el uso de gemelo digital (Unilab)*. (PIE-INT-2024-29).

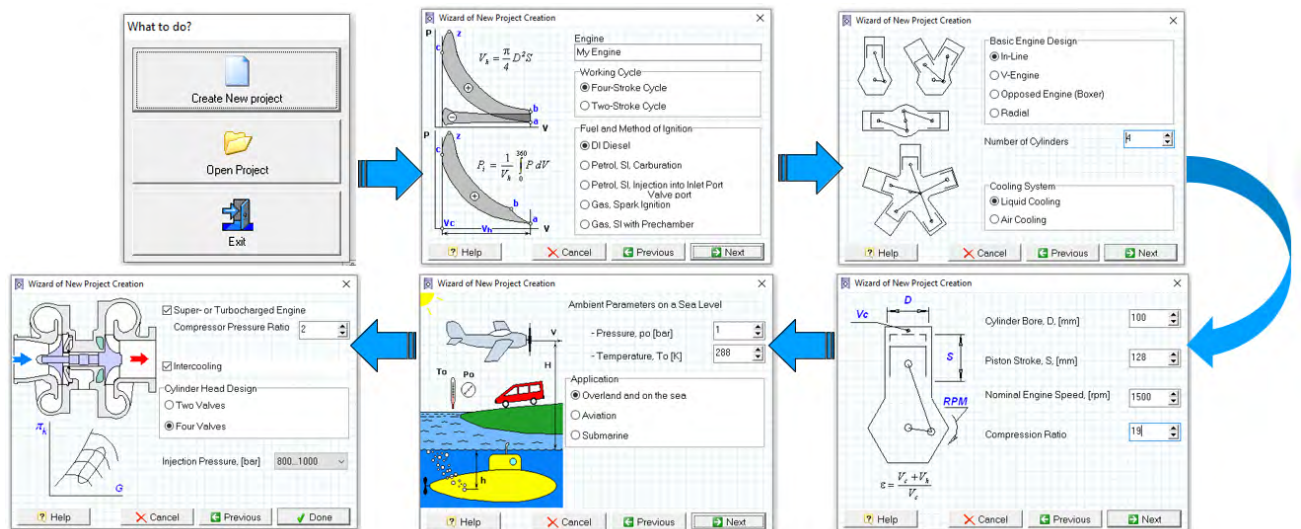


Figura 2. Secuencia de configuración inicial de un proyecto en *Diesel-RK*.

## 2.4 Evaluación y análisis de datos.

La evaluación del aprendizaje se llevó a cabo de forma continua, siguiendo los criterios establecidos en la guía docente. Se consideraron tanto los indicadores globales de rendimiento académico -número de matriculados,

aprobados, suspensos y abandonos- como los resultados específicos del curso de implantación, basados en cuestionarios, informes y examen final.

El cuestionario inicial permitió identificar el nivel de partida del alumnado, mientras que el cuestionario final midió la asimilación de los conceptos teóricos y prácticos relacionados con el funcionamiento de los motores y el uso del programa. Los informes técnicos, por su parte, evaluaron la capacidad de análisis, la aplicación del modelo de simulación y la interpretación de los resultados.

La calificación de cada instrumento se realizó en base a rúbricas diseñadas por el equipo docente, asegurando la coherencia con los objetivos de aprendizaje y la progresión de competencias. El conjunto de las actividades constituyó un componente esencial dentro del marco de evaluación continua de la asignatura, favoreciendo el aprendizaje activo y la reflexión sobre el propio proceso formativo [14–17].

Finalmente, el análisis comparativo de los tres cursos académicos (2022-2023, 2023-2024 y 2024-2025) permitió valorar la evolución del rendimiento académico y el impacto de la propuesta en la motivación y desempeño del alumnado [11, 15, 16]. Los resultados obtenidos evidencian una mejora progresiva en la implicación y autonomía de los estudiantes, así como un incremento en la calidad de los informes y la precisión en la interpretación de las simulaciones.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Evolución del rendimiento académico.

El análisis longitudinal realizado entre los cursos 2022-2023, 2023-2024 y 2024-2025 permite observar una evolución progresiva tanto en el rendimiento académico del alumnado como en su grado de participación en las actividades formativas. En la Fig. 3 se integran los principales indicadores de rendimiento -número de estudiantes aprobados, suspensos y abandonos- junto con la nota media final de cada curso. Esta representación permite apreciar de manera conjunta la tendencia general observada a lo largo del periodo analizado.

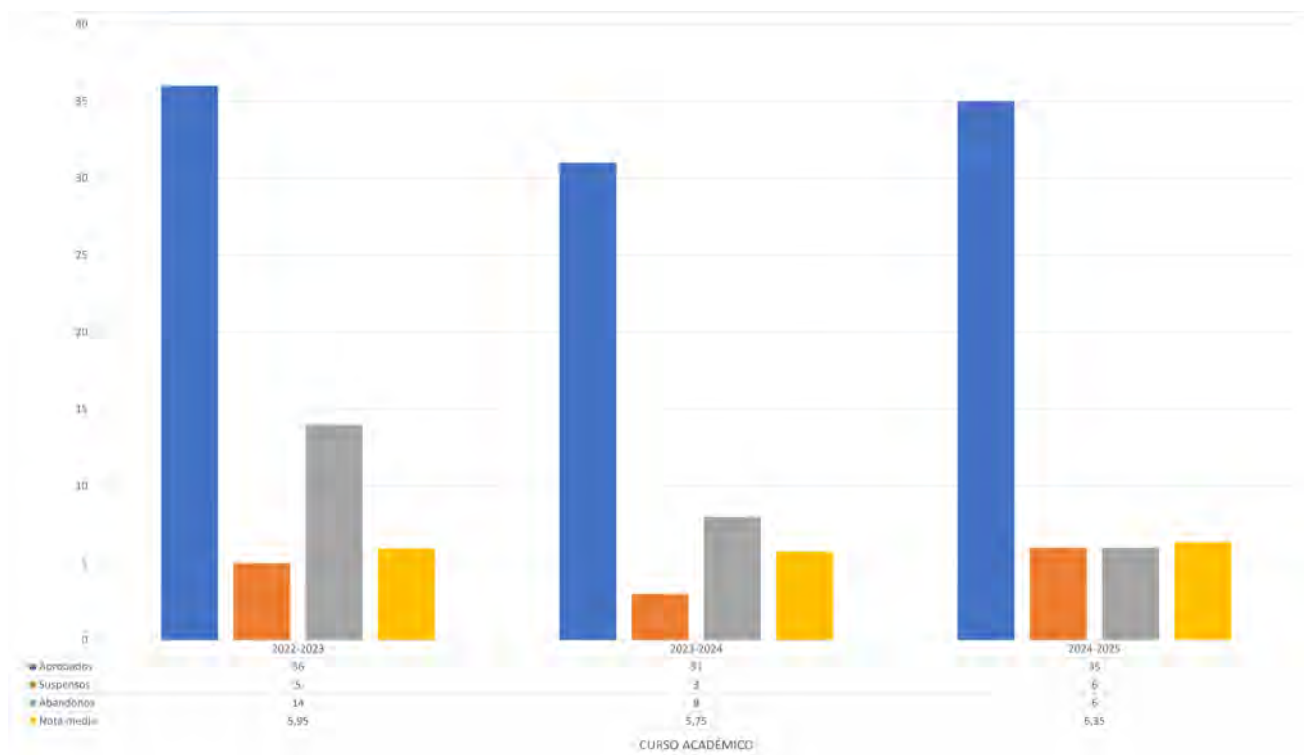


Figura 3. Evolución del rendimiento académico y nota media (2022–2025).

Los resultados evidencian una mejora global en el rendimiento académico, especialmente durante el curso 2024-2025, coincidiendo con la implantación definitiva de la propuesta basada en el uso de *Diésel-RK*. Se observa un incremento sostenido de la nota media y una reducción significativa del abandono (del 25% en 2022-2023 al 9% en 2024-2025), lo que refleja una mayor implicación del alumnado y un mejor aprovechamiento de las sesiones prácticas y de simulación. Asimismo, el número de aprobados se mantiene estable, aunque con una tendencia ascendente en la calificación media, lo que sugiere una mejora cualitativa más que cuantitativa. Este resultado es coherente con la consolidación del aprendizaje activo, el trabajo colaborativo y el acompañamiento tutorial implementado durante el proceso.

### 3.2 Resultados específicos del curso 2024-2025.

Durante el curso de implantación definitiva, se aplicaron instrumentos de evaluación específicos que permitieron analizar de manera más precisa la adquisición de competencias y el progreso del alumnado. En la Tab.1 se recogen las calificaciones medias obtenidas en cada una de las actividades.

Tabla 1. Resultados de los instrumentos de evaluación específicos (curso 2024-2025).

Instrumento de evaluación	Descripción breve	Nota media
Cuestionario inicial	Conocimientos previos sobre MCIA	6,2
Cuestionario final	Manejo del software Diésel-RK y conceptos MCIA	9,4
Informe de guía de montaje	Análisis constructivo del motor	8,5
Informe de simulación	Modelización termodinámica en Diésel-RK	7,8
Examen final	Evaluación global de la asignatura	6,4

Los resultados del cuestionario final evidencian una mejora significativa en la comprensión de los conceptos simulados. Este progreso confirma la efectividad del enfoque práctico y del manejo del software como herramienta didáctica, ya que los estudiantes fueron capaces de trasladar los conocimientos teóricos a la simulación de un motor real.

Los informes de montaje y simulación alcanzaron calificaciones medias elevadas, superiores a 7,5 puntos, lo que indica un dominio satisfactorio tanto en los aspectos técnicos como en la capacidad de análisis crítico. Además, el informe de montaje obtuvo la valoración más homogénea, evidenciando un aprendizaje cooperativo equilibrado entre los grupos [14–16].

### 3.3 Discusión de resultados.

La comparación entre los tres cursos académicos muestra una evolución positiva asociada a la implantación progresiva de la propuesta educativa, tanto en términos de rendimiento como de compromiso del alumnado [11]. La reducción de los abandonos, junto con la mejora en la nota media y la elevada participación en los informes técnicos, son indicadores claros de un aprendizaje más activo y motivador.

El uso del software de simulación ha contribuido a fortalecer la conexión entre teoría y práctica, permitiendo que el estudiante visualice los efectos de cada parámetro del motor sobre su rendimiento. Esta experiencia ha favorecido no solo la comprensión de los procesos termodinámicos, sino también el desarrollo de competencias transversales como el trabajo en equipo, la redacción técnica y la resolución de problemas.

Por otra parte, la combinación de actividades presenciales, tutorías y apoyo remoto ha facilitado una mayor autonomía del alumnado y una relación docente/estudiante más cercana, lo que se traduce en un clima de aprendizaje colaborativo y continuo. En conjunto, los resultados refuerzan la idea de que la integración de herramientas de simulación de código abierto, junto con metodologías activas, constituye un modelo eficaz y transferible a otras asignaturas del ámbito de la ingeniería.

Sin embargo, debe considerarse que los indicadores utilizados en este análisis -número de aprobados, suspensos, abandonos y nota media- ofrecen una visión parcial del impacto formativo de la propuesta. Estos parámetros reflejan el progreso académico institucional, pero no recogen otros factores que pueden influir en el rendimiento,

como las circunstancias personales, el contexto socioeconómico o la motivación individual del alumnado. Aún con estas limitaciones, los resultados constituyen una base verificable para valorar la evolución del aprendizaje en el marco de la implantación de la propuesta educativa.

#### 4. CONCLUSIONES

La experiencia desarrollada ha permitido constatar una mejora sostenida en el rendimiento académico del alumnado y una mayor implicación en las actividades prácticas y de simulación. Asimismo, el programa *Diésel-RK* se ha consolidado como un recurso didáctico eficaz para la enseñanza de los motores de combustión interna alternativos (MCIA), al facilitar la comprensión de su comportamiento termodinámico y de las variables que condicionan su diseño y funcionamiento. Asimismo, la propuesta ha contribuido a integrar el aprendizaje teórico con la experimentación práctica, potenciando el desarrollo de competencias técnicas y transversales en el ámbito de la ingeniería térmica.

Debe señalarse, no obstante, que los indicadores empleados -número de aprobados, suspensos, abandonos y nota media- se limitan a los datos académicos disponibles a nivel institucional. Aunque el rendimiento del alumnado puede verse influido por factores externos, estos aspectos quedan fuera del alcance de la presente investigación. El objetivo se ha centrado, por tanto, en analizar la evolución de los resultados académicos asociados a la implementación de la propuesta educativa, dentro de los márgenes de información accesibles a la universidad. En futuras investigaciones, se plantea complementar este análisis con instrumentos cualitativos, como encuestas de satisfacción o entrevistas a los estudiantes, que permitan incorporar la percepción y experiencia estudiantil en la evaluación del impacto formativo.

Los datos obtenidos confirman que la incorporación de herramientas de simulación en el aula contribuye significativamente a la comprensión de los principios de funcionamiento y optimización de los MCIA. El alumnado ha mostrado una mejora notable en la asimilación de conceptos complejos, en la capacidad de análisis técnico y en la interpretación crítica de resultados, especialmente durante el curso de implantación definitiva.

Del mismo modo, la combinación de sesiones presenciales, tutorías personalizadas y acompañamiento remoto ha favorecido la autonomía de los estudiantes y un aprendizaje más reflexivo, colaborativo y orientado a la práctica. El modelo metodológico aplicado se ha mostrado eficaz para fortalecer competencias específicas en el área de máquinas y motores térmicos, además de potenciar habilidades transversales como el trabajo en equipo, la comunicación técnica y el uso de herramientas digitales avanzadas.

Desde la perspectiva docente, esta experiencia confirma la validez de integrar software libre de simulación en el proceso formativo, tanto por su potencial didáctico como por su accesibilidad y adaptabilidad a diferentes niveles educativos. Los resultados respaldan la continuidad y ampliación de esta propuesta a otras asignaturas del ámbito de la ingeniería industrial, así como su posible implementación en programas de máster o doctorado. En conjunto, este trabajo demuestra que la innovación educativa basada en entornos de laboratorio y simulación puede convertirse en un eje transformador de la enseñanza técnica universitaria, al conectar de manera efectiva la teoría con la práctica y situar al estudiante en el centro del proceso de aprendizaje.

**Financiación:** Este proyecto es financiado en parte por los fondos europeos Next Generation EU (NGEU) bajo el “Real Decreto 641/2021, de 27 de julio, por el que se regula la concesión directa de subvenciones a universidades públicas españolas para la modernización y digitalización del sistema universitario español en el marco del plan de recuperación, transformación y resiliencia (UNIDIGITAL) - Proyectos de Innovación Educativa para la Formación Interdisciplinar (PIEFI), Línea 3: Contenidos y programas de formación. Asimismo, se integra en la continuidad de los proyectos de innovación docente de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria que se han ido presentado desde 2022 hasta la fecha:

- *Laboratorios como entornos de trabajo para el aprendizaje activo y colaborativo mediante el diseño, desarrollo, construcción, utilización y rediseño de equipos y dispositivos para su aplicación en las prácticas.* (PIE 2022-60).
- *Aplicación de técnicas de aprendizaje activo y colaborativo en laboratorios como entornos de trabajo. Diseño, desarrollo y adaptación de equipos para su aplicación en sesiones de prácticas.* (PIE 2023-60).

- *Mejora del aprendizaje colaborativo en entornos de laboratorio mediante el uso de gemelo digital (Unilab)* (PIE-INT-2024-29).

y que continúa en el proyecto *Mejora del Aprendizaje colaborativo en entornos de laboratorio mediante la integración de simulación e Inteligencia Artificial (SIMULAB-IA)*. (PIE-INT-2025-07).

## AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todos los estudiantes que participaron en esta experiencia. Cabe destacar que su proactividad, entusiasmo y dedicación han sido el engranaje conductor que ha impulsado el desarrollo y éxito de este trabajo.

De igual forma, queremos reconocer y valorar profundamente el compromiso del equipo docente, cuya experiencia, guía y apoyo constante han sido imprescindibles para que esta propuesta se llevara a cabo con éxito y lograra el impacto esperado.

Todo este esfuerzo conjunto ha sido primordial para alcanzar los resultados presentados en este artículo, y por ello les estamos profundamente agradecidos.

## REFERENCES

- [1] Heywood, J. B., [*Internal Combustion Engine Fundamentals*], McGraw-Hill (2018).
- [2] Stone, R., [*Introduction to Internal Combustion Engines*], Palgrave Macmillan (2012).
- [3] Noor, C. W. M. and Hafizuddin, M., “Analysing the impact of various diesel types on the performance and emissions of marine diesel engines using diesel-rk software,” *Universiti Malaysia Terengganu Journal of Undergraduate Research* **7**(1), 16–26 (2025).
- [4] Shah, S. and Patel, N., “Optimizing diesel engine combustion performance and emissions with diesel-rk software simulation,” *Journal of Mines, Metals and Fuels* **73**(7), 2221–2231 (2025).
- [5] Kuleshov, A., [*Diesel-RK Software for Engine Simulation and Optimization*], Bauman Moscow State Technical University (2020).
- [6] Kuleshov, A. and Mahkamov, K., “Multi-zone diesel fuel spray combustion model for the simulation of a diesel engine running on biofuel,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy* **222**, 309–321 (2008).
- [7] Kuleshov, A. S., “Multi-zone di diesel spray combustion model and its application for matching the injector design with piston bowl shape,” *SAE Technical Paper Series* **2007-01-1908**, 1–17 (2007).
- [8] Kuleshov, A., “Multi-zone di diesel spray combustion model for thermodynamic simulation of engine with pcci and high egr level,” *SAE Technical Paper Series* **2009-01-1956**, 1–21 (2009).
- [9] Kuleshov, A., “Use of multi-zone di diesel spray combustion model for simulation and optimization of performance and emissions of engines with multiple injection,” *SAE Technical Paper Series* **2006-01-1385**, 1–17 (2006).
- [10] Kuleshov, A., “Model for predicting air-fuel mixing, combustion and emissions in di diesel engines over whole operating range,” *SAE Technical Paper Series* **2005-01-2119**, 1–16 (2005).
- [11] Lozano, J. C., “Propuesta de aprendizaje de un método sencillo para el diseño y optimización de un MCIA,” in [*VI Semana de la Innovación Educativa, ULPGC*], (2023).
- [12] Singh, R., Sharma, N., and Gupta, V. K., “Integrating simulation software into mechanical engineering education,” *Computer Applications in Engineering Education* **28**(5), 1270–1285 (2020).
- [13] Al-Issa, S. M. and Al-Qudaimi, N., “Enhancing engineering thermodynamics learning using open-source simulation tools,” *Education for Chemical Engineers* **35**, 33–42 (2021).
- [14] Prince, M., “Does active learning work? a review of the research,” *Journal of Engineering Education* **93**(3), 223–231 (2004).
- [15] Kolb, D. A., [*Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*], Pearson Education, Upper Saddle River, NJ, 2 ed. (2015).
- [16] Felder, R. M. and Brent, R., [*Teaching and Learning STEM: A Practical Guide*], Jossey-Bass, San Francisco (2016).
- [17] Biggs, J. and Tang, C., [*Teaching for Quality Learning at University*], Open University Press, Maidenhead, 4 ed. (2011).

## Aprendizaje experiencial y cooperativo de las operaciones básicas de destilación y absorción mediante la práctica con torres piloto.

Yumara Beatriz Martín Cruz<sup>a</sup>[0000-0002-5405-6347], Luis Jesús Fernández Suárez<sup>a</sup>[0000-0002-6924-3444], Juan José Santana Rodríguez<sup>a</sup>[0000-0002-3030-2195], Ricardo Alexis Liria Romero<sup>a</sup>, Carlos Alberto Mendieta Pino<sup>a</sup>[0000-0002-1808-0112] y Juan Carlos Lozano Medina<sup>a</sup>[0009-0005-4985-9339]

<sup>a</sup> GIE-60 Grupo de Innovación Educativa en Ingenierías Químicas y de Sistemas y Automática.  
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

### ABSTRACT

El desarrollo de cualquier proceso químico lleva consigo una gran variedad de operaciones unitarias, siendo el control de las mismas una de las tareas principales de los ingenieros químicos. Asimismo, presentar una buena organización de las tareas de cada operario es fundamental para el correcto funcionamiento del proceso. El objetivo que se pretende alcanzar con esta actividad es la formación de los alumnos del Grado de Ingeniería Química Industrial de dos operaciones unitarias muy extendidas en la industria actual, la destilación y la absorción, mediante la maniobra de torres piloto y la asignación de roles y tareas específicas. Con esta práctica, se pretende fomentar el pensamiento crítico de los alumnos, incentivar su capacidad resolutoria ante los posibles problemas que puedan surgir, promover el trabajo cooperativo por la propia asignación de tareas y, finalmente, llevar a la práctica los conceptos teóricos dados en clase, viendo su aplicación en casos reales. La evaluación de esta actividad se llevó a cabo mediante dos vías: la entrega de un informe final del alumno para el aprendizaje individual y una rúbrica para el aprendizaje cooperativo y mediante una encuesta a los alumnos, evaluándose aspectos como la adecuación del material docente y la satisfacción global. Los resultados obtenidos mostraron una buena consecución del objetivo planteado. Los informes fueron bastante completos y las tareas fueron desarrolladas de forma ordenada y entusiasta. La aceptación de la actividad por parte del estudiantado fue evaluada positivamente, con puntuaciones bastantes elevadas, superiores, en su mayoría a 9 puntos sobre 10.

**Keywords:** \*aprendizaje basado en casos\*, \*estructura industrial\*, \*ingeniería química\*, \*operaciones unitarias\*, \*prácticas de laboratorio\*, \*trabajo colaborativo\*, \*asignación de roles\*, \*combinación con técnicas de simulación\*

### 1. INTRODUCCIÓN

Los procesos químicos industriales se llevan a cabo en complejas instalaciones (Figura 1), en las que cada equipo (operación unitaria) realiza una transformación concreta sobre la materia, de forma que el conjunto permite obtener los productos deseados a partir de las materias primas de partida. No obstante, incluso en un proceso perfectamente diseñado, conseguir que el funcionamiento sea el esperado es complejo, debido a la fuerte interacción entre las variables de operación de la multitud de equipos presentes en el sistema. Para lograr la correcta operación de la planta, el personal al cargo de esta debe ser experto en sus maniobras, además de implementar un sistema de control tan preciso y detallado como sea posible. Las maniobras de una planta incluyen su puesta en marcha, desde el estado “frío” hasta el “régimen estacionario”, las manipulaciones necesarias para su control, la obtención, comprobación y certificación de los productos obtenidos, la parada de la planta (tanto la parada programada como las de emergencia) y la limpieza y supervisión del equipo.

El desarrollo de capacidades prácticas en la maniobra de equipos de proceso es una de las más importantes para los alumnos egresados de la rama de tecnología química [1-3] (Grado en Ingeniería Química, GIQ, y Grado en Ingeniería Química Industrial, GIQI). Una parte significativa de la oferta de empleo de titulados en esta rama va dirigida a captar profesionales para la dirección de procesos químicos, lo que implica ponerse al frente de un equipo de profesionales de diferentes clases, y coordinarlos para mantener las instalaciones industriales en funcionamiento de forma estable y segura. Aunque es necesario que los alumnos asimilen los conceptos teóricos de control e instrumentación, así como otros propios de las diferentes maniobras, el aprendizaje práctico, mediante la operación de plantas piloto, y siguiendo una metodología de trabajo que se aleje de las estructuras académicas y trate de simular las dinámicas de trabajo en planta, son enormemente valiosas para los alumnos de esta rama del conocimiento. Esto implica generar, en el grupo de trabajo que realiza la



## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Preparación previa a la práctica

Como preparación previa a las maniobras de cada una de las torres, al finalizar la impartición de los conceptos teóricos, se usaron varios vídeos interactivos. Mediante esta tecnología, los alumnos pudieron ver todo el diseño de una planta química, así como el procedimiento de mantenimiento y de construcción de cada una de las torres que se tratan en la práctica. Además de fomentar el aprendizaje de los conocimientos teóricos, se pretendió que los alumnos trasladarán lo que observaron en el vídeo a la práctica.

### 2.2. Maniobras de las plantas piloto

#### 2.2.1. Torre de destilación de platos.

La torre de destilación usada en esta práctica es la que se muestra en la Figura 2.A. El propósito de esta torre es la destilación de una mezcla metanol-agua ( $\approx 50\%$  p/p) hasta alcanzar dos purezas de metanol, del 90 % p/p y el 70 % p/p. Para ello, se distinguen tres etapas fundamentales:

- La puesta en marcha de la torre, en la que se produce el calentamiento de la mezcla, trabajando la columna a reflujo infinito. Debido a la duración de esta puesta en marcha (aproximadamente 1 h), se citó a los alumnos antes de la clase teórica.
- La destilación propiamente dicha una vez que se estabilizó la temperatura de cabeza y colas, anotando su valor. En este momento, se cambió la relación de reflujo de la torre a reflujo mínimo, obteniendo así un volumen de destilado continuo. Mientras una parte del alumnado tomaba muestras del destilado cada diez minutos, la otra parte analizaba dichas muestras, determinando la composición del metanol mediante densimetría a 25 °C, proporcionándole al alumnado las gráficas correspondientes. Este procedimiento de toma de muestras se mantuvo hasta alcanzar una concentración de metanol en el destilado inferior al 90 %. En ese momento, se aumentó ligeramente la relación de reflujo, repitiendo el procedimiento de toma y análisis de muestras descrito con anterioridad. Cuando ya no fue posible producir metanol con una pureza mayor al 90 %, aun cambiando la relación de reflujo, se comenzó a producir metanol con una pureza del 70 %. Cuando se dispuso de un 1 L de metanol de la calidad deseada, se almacenó en botellas, las cuales fueron etiquetadas con la composición y fecha de recogida.
- Finalmente, se procedió al apagado de la columna, configurando la columna nuevamente a reflujo infinito, descargando el metanol destilado en recipientes autorizados y apagando el rehervidor.

#### 2.2.2. Torre de absorción.

La torre piloto usada para la absorción es la que se muestra en la Figura 3.A, y su esquema se presenta en la Figura 3.B. El objetivo a alcanzar con dicha torre es la eliminación de ácido acético, el cual ha sido previamente disuelto en el aire comprimido por medio de un burbujeador; el absorbente a utilizar fue el agua. En este caso, se distinguen cuatro etapas diferentes, que son:

- Arranque de la torre. Para ello, en primer lugar, se abrió la línea de aire, asegurando previamente el cierre de la línea de burbujeo con el fin de que el aire entre limpio a la torre (Figura 3.C.); asimismo, también se abrió la línea de agua para que entrara en la columna.
- Inundación de la torre, manteniendo constante el caudal de agua y variando el caudal de aire. Una vez se inunde la torre, se apuntan los caudales de agua y de gas, así como la caída de presión y rápidamente se regulan los caudales con el fin de evitar daños en la torre.
- Funcionamiento de la torre. Establecidos los caudales de inundación, se abrió la línea de burbujeo, provocando que el aire se impregnara del ácido acético y pudiera entrar a la columna con dicho soluto (Figura 3.D). Trascorridos cinco minutos, una parte del alumnado se encargó de la toma de muestras de la fracción líquida mientras que la otra parte fue responsable de la toma y análisis de muestras de la fracción gaseosa. Para el análisis de ambos tipos de muestras se llevó a cabo una volumetría con NaOH 0,01 M y 0,1 M respectivamente. Los caudales de aire y agua se fueron cambiando a lo largo de la práctica, en función de los resultados que iban obteniendo en cada una de las volumetrías. Esto le permitió al alumnado fomentar su capacidad de decisión, tomando como objetivo la elección de los caudales de aire y agua en los que la columna trabaje mejor, obteniendo una mayor limpieza del aire (objetivo de la práctica).

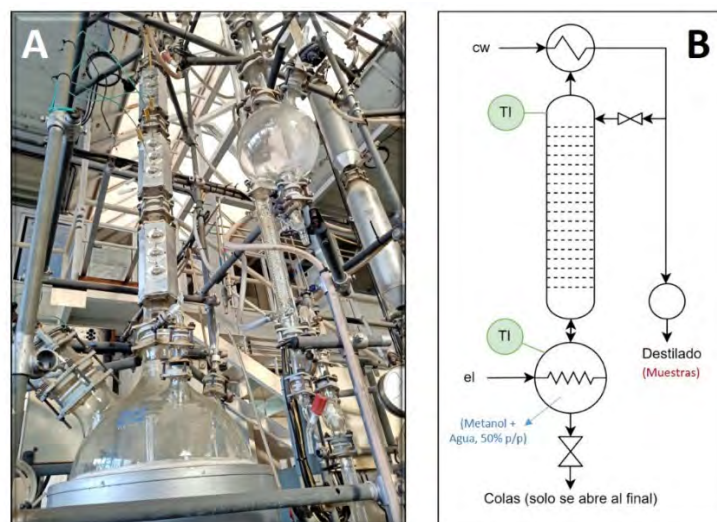


Figura 2. Torre piloto de destilación de platos (A). Esquema de funcionamiento (B): TI indica los puntos donde se tomaron datos de temperatura; cw, cold water (agua de refrigeración); el, electricity (calentamiento eléctrico).

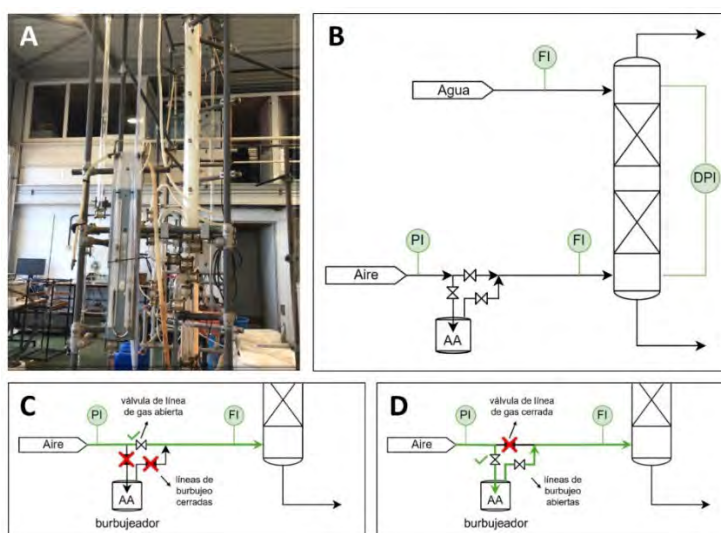


Figura 3. Torre piloto de absorción (A). Esquema de funcionamiento completo de la torre (B): AA, ácido acético; FI, flow indicator (rotámetros para caudal de aire y agua, l/min); PI, pressure indicator (manómetro); DPI, differential pressure indicator (manómetro de columna de mercurio para medir la caída de presión de la columna). Esquema de funcionamiento para la inundación de la columna (C). Esquema de funcionamiento para la incorporación de ácido acético en la columna (D).

- d) Finalmente, como en el caso anterior, se procedió a la parada de la torre, cerrando tanto la línea de burbujeo como la línea de aire. La línea de agua permaneció abierta durante unos minutos para limpiar la columna, descargando, finalmente, el líquido de la torre.

### 2.3. Asignación de roles y tareas.

Con el fin de simular el ejercicio profesional en una industria, se le asignó una de las tareas que se muestran en la Figura 4 a cada uno de los 10 alumnos que realizaron dicha práctica. Así, uno de los alumnos fue el encargado de registrar los resultados y guiar las maniobras, bajo la supervisión de unos de los docentes (director de planta). El resto de los alumnos se distribuyeron entre los roles necesarios para la correcta maniobra de los equipos. Así, en la torre de platos, dos alumnos se ocuparon del control del equipo, mediante la medición de la temperatura en el destilado y colas de la torre, manipulando, según se requería, la relación de reflujo y la potencia en las mantas calefactoras. El resto de los alumnos se dividieron el

trabajo de muestreo, análisis y certificación de los productos obtenidos. Por otro lado, en la torre de absorción se requirieron cuatro alumnos para el control del equipo; uno de ellos encargado de vigilar la caída de presión, otro de supervisar los caudalímetros y los dos últimos operaban las válvulas de regulación del flujo de agua y gas. El resto de los alumnos se ocuparon de tomar muestras de las corrientes de gas lavado y absorbente contaminado y de analizarlas. Los datos que iban obteniendo de cada muestra en ambas torres lo iban escribiendo en una hoja de registro, cuyas plantillas se muestra en las Figura 5 y 6. Debido a que la duración total de la práctica fue de 2 horas y con el objetivo de que todos participaran de forma activa en cada una de los roles establecidos, esta distribución de tareas fue rotando cada 10 minutos (tiempo que se estimó entre una toma de muestra y la siguiente). Un ejemplo de esta distribución se representa en la Tabla 1 para la torre de destilación.

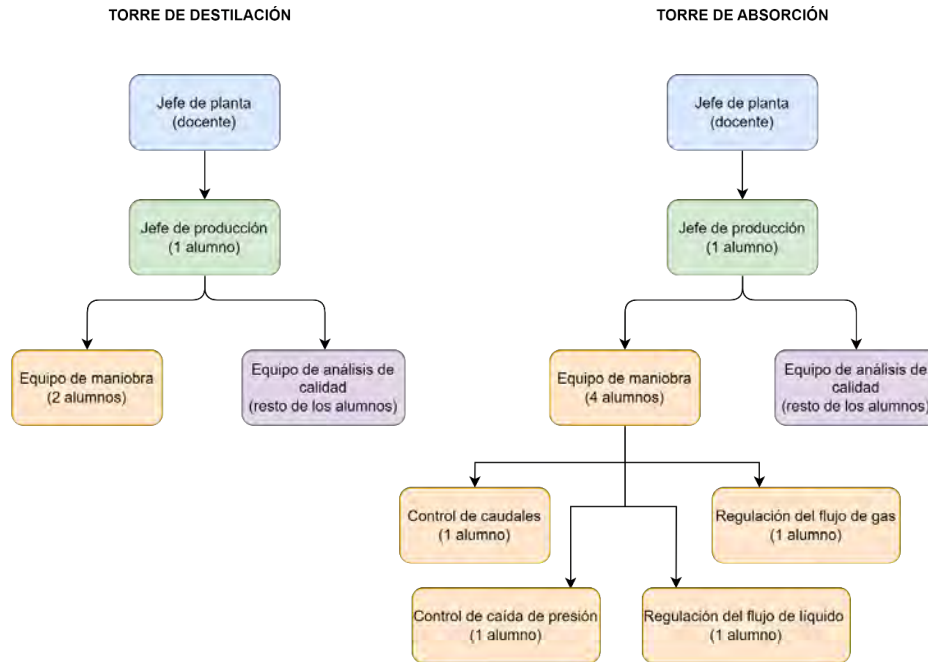


Figura 4. Esquema de organización de tareas desarrollada en la práctica para cada una de las plantas piloto.

#### 2.4. Valoración del y por parte del alumnado.


Para evaluar el grado de conocimiento adquirido por los alumnos, como tarea final, realizaron el informe de prácticas, en el cual, además de exponer las cuestiones solicitadas, también se les pidió que comentaran dichos resultados y todo lo que pudiera llamarles la atención en el desarrollo de la actividad. De esta manera, se pretende incentivar el juicio crítico del alumnado, así como agudizar su capacidad de observación y razonamiento. El hecho que ellos tengan que buscar una explicación a los resultados obtenidos (y no sólo el hecho de obtener un mero número) es una oportunidad para aumentar ese “apetito de conocimiento” que falta en muchos casos y que puede ser la raíz de la falta de motivación en gran parte del alumnado. La evaluación grupal para ver la efectividad del aprendizaje cooperativo se llevó mediante la rúbrica mostrada en la Tabla 2.

Asimismo, no sólo se evaluó al alumnado, sino que, con el fin de conocer cómo fue la experiencia, se elaboró una encuesta, utilizando, como herramienta, *Microsoft Forms*. En dicha encuesta (Figura 7) se evaluaron aspectos como la preparación previa a la práctica, la adecuación del material docente utilizado y cómo se ven ellos desarrollando la actividad desde un punto de vista profesional, entre otros aspectos. Para tal fin, se plantearon seis preguntas de valoración, con una puntuación del 1 al 10, siendo el 1 la menor puntuación, y 10, la máxima. Las dos últimas preguntas se plantearon como preguntas de respuesta corta, con las que se pretendió que los alumnos expusieran en tres o cuatro palabras que aspectos destacarían de la actividad y que aspectos mejorarían. Contar con la visión del estudiantado nos sirve a los docentes para mejorar aspectos

muchas veces ignorados, pero sí requeridos por los alumnos, siendo capaces de corregir esos errores para los años posteriores.

Tabla 1. Ejemplo de distribución rotativa de las tareas asignadas a cada uno de los alumnos para la torre de destilación. Cada 10 minutos (columna 1: tiempo transcurrido desde el comienzo de la práctica) se muestra la tarea asignada a cada alumno (A.número). Se remarca el A.1 como ejemplo para una mejor visualización.

	Jefe	Maniobra		Análisis (densimetría, cálculos, etc.)						
0 min	Breve introducción a la práctica impartida por el docente									
10 min	A.1	A.2	A.3	A.4	A.5	A.6	A.7	A.8	A.9	A.10
20 min	A.10	A.1	A.2	A.3	A.4	A.5	A.6	A.7	A.8	A.9
30 min	A.9	A.10	A.1	A.2	A.3	A.4	A.5	A.6	A.7	A.8
40 min	A.8	A.9	A.10	A.1	A.2	A.3	A.4	A.5	A.6	A.7
50 min	A.7	A.8	A.9	A.10	A.1	A.2	A.3	A.4	A.5	A.6
60 min	A.6	A.7	A.8	A.9	A.10	A.1	A.2	A.3	A.4	A.5
70 min	A.5	A.6	A.7	A.8	A.9	A.10	A.1	A.2	A.3	A.4
80 min	A.4	A.5	A.6	A.7	A.8	A.9	A.10	A.1	A.2	A.3
90 min	A.3	A.4	A.5	A.6	A.7	A.8	A.9	A.10	A.1	A.2
100 min	A.2	A.3	A.4	A.5	A.6	A.7	A.8	A.9	A.10	A.1
110 min	FINALIZACIÓN DE LA PRACTICA									
120 min	Tiempo dedicado al lavado del material usado									

 **Planta piloto de destilación.** Fecha: \_\_\_\_\_

Torre:				Sistema:				Presión:		Grupo:					
Hora	Acción	Retención de reflicjo		Inundación	Composición inicial:				Calentadores				Envasado		
		Destilado	Reflicjo		T destilado	X destilado	T agua	X agua	R1	R2	R3	R4	Nº	X	
	<input type="checkbox"/> Control <input type="checkbox"/> Cambio <input type="checkbox"/> Extracción														
	<input type="checkbox"/> Control <input type="checkbox"/> Cambio <input type="checkbox"/> Extracción														
	<input type="checkbox"/> Control <input type="checkbox"/> Cambio <input type="checkbox"/> Extracción														
	<input type="checkbox"/> Control <input type="checkbox"/> Cambio <input type="checkbox"/> Extracción														
	<input type="checkbox"/> Control <input type="checkbox"/> Cambio <input type="checkbox"/> Extracción														
	<input type="checkbox"/> Control <input type="checkbox"/> Cambio <input type="checkbox"/> Extracción														
	<input type="checkbox"/> Control <input type="checkbox"/> Cambio <input type="checkbox"/> Extracción														
	<input type="checkbox"/> Control <input type="checkbox"/> Cambio <input type="checkbox"/> Extracción														

Firma del coordinador de producción \_\_\_\_\_ Firma del director de planta \_\_\_\_\_

Figura 5. Plantilla de recogida de datos. Torre de platos.



### Encuesta de satisfacción: torres piloto, Operaciones Básicas II

Con este breve cuestionario, queremos conocer cuál ha sido tu experiencia al realizar la práctica con torres piloto. Agradecemos enormemente tu participación, ya que también nos ayudarás a mejorar para las próximas ediciones. De nuevo, ¡¡MUCHAS GRACIAS!!

1. ¿Consideras que la difusión previa a la actividad fue adecuada?

2. ¿Se adaptó bien la duración de la actividad con el horario previsto para la misma?

3. ¿Se dispuso del material docente suficiente para el desarrollo de la actividad (presentación, gráficas, etc.)?

4. El objetivo de la práctica es entender las operaciones básicas de destilación y absorción mediante las torres piloto, ¿crees que se ha alcanzado dicho objetivo?

5. Con el reparto de roles que se ha llevado a cabo en la práctica, ¿te han sentido como un/a ingeniero/a?

6. ¿Cuál es tu satisfacción global de la actividad?

7. ¿Qué aspectos destacarías del desarrollo de la práctica?

8. ¿Qué aspectos mejorarías de la práctica?

Figura 7. Plantilla de la encuesta realizada al alumnado elaborada con Microsoft Forms

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Evaluación de los resultados de la práctica.

#### 3.1.1. Evaluación individual

El método de evaluación individual de cada alumno fue la realización de un informe individual, valorándose aspectos como el procedimiento de cálculo, la presentación de los resultados y las conclusiones deducidas a partir de los mismos. En el caso de la práctica con la torre de destilación, la nota de valoración obtenida en los informes fue, de forma general, bastante alta, con una nota superior a 8 en el 70 % del alumnado, con una buena estructura en dichos informes. En primer lugar, se presentó la toma de muestras, mediante la cual iban determinando la composición del metanol en el destilado a medida que se llevaba a cabo el proceso, tal y como se muestra en la Figura 8.A, observándose un manejo bastante pronunciado en el uso de las gráficas y los cálculos correspondientes. Una vez culminado el proceso de destilación, con

los datos obtenidos, los alumnos fueron capaces de determinar parámetros de diseño tan importantes en este tipo de operaciones como el número de platos teóricos y la eficiencia real de platos aplicando el método gráfico de McCabe-Thiele, como se muestra en la Figura 8.B. Debido a que este método fue impartido en la parte teórica de la asignatura, tras su aplicación en un caso real, se observó una muy buena asimilación de los conceptos, observándose en aspectos como el procedimiento propio del cálculo. En lo que respecta a la práctica con la torre de absorción, se observó un escenario similar a la torre anterior, en el que los alumnos presentaron informes bastantes completos y comentados. En primer lugar, determinaron el caudal de inundación, trabajando a lo largo de la actividad con caudales inferiores (Figura 9.A). Finalmente, tras la realización de los cálculos pertinentes, determinaron parámetros de la torre como el NTU (número de unidades de transferencia) o el HTU (altura de una unidad de transferencia) (Figura 9.B). Además de priorizar los procedimientos de cálculo en la evaluación, se valoró la interpretación de los mismos, más que el resultado numérico obtenido. De esta manera, se evaluó el pensamiento crítico y resolutivo del estudiante antes los problemas surgidos en ambas prácticas. Considerando este aspecto, también se obtuvo una muy buena respuesta por parte de los alumnos, aportando incluso modificaciones al procedimiento llevado a cabo para la consecución de mejores resultados (cambiar la concentración de NaOH utilizada, por ejemplo).

### **3.1.2. Evaluación del trabajo cooperativo.**

Tomando de base la rúbrica expuesta en la Tabla 2, la gran mayoría de los alumnos presentaron una clasificación alta. En ambas prácticas, se observó una gran participación en cada una de las tareas, tomando decisiones en los subgrupos de tareas correspondientes, siendo comunicadas con bastante orden al resto de los subgrupos. Como ejemplo, se puede citar la elección de los caudales de aire y agua en la torre de absorción partiendo de los resultados que fueron obteniendo de las volumetrías realizadas a las muestras de aire (un grupo de alumnos) y del agua (otro grupo de alumnos). Dichos caudales fueron consensuados entre ambos grupos (tarea de análisis) y comunicada a los encargados de variar dichos caudales. De esta manera, ambas prácticas fueron desarrolladas con bastante orden y armonía. Asimismo, se realizaron con una evolución continua, sin necesidad de tener que parar por la inactividad de ninguno de los alumnos.

### **3.2. Análisis de la opinión de los alumnos.**

Los resultados obtenidos tras realizar la encuesta a los alumnos matriculados en la asignatura se muestran en la Figura 10. La puntuación media obtenida en las preguntas de clasificación fue bastante alta, superior al 9, salvo en la pregunta 5, que alude a sí, con el reparto de roles, se sentían como ingenieros, con una valoración mínima de un notable. El uso de los videos interactivos (correspondiente a la pregunta 1) obtuvo un elevado nivel de aceptación por parte de los alumnos, con una puntuación media muy próxima al 10. En lo que respecta a las preguntas de respuesta libre, destacan el dinamismo de la actividad, así como el trabajo cooperativo, pudiendo compartir ideas entre ellos para la resolución de las diferentes situaciones a solventar durante el desarrollo de la práctica. Asimismo, también destacan el hecho de que, con el desarrollo de la actividad, han podido reforzar los conceptos teóricos que se habían impartido durante el curso, viendo su utilidad. En lo referente a los aspectos que cambiarían, se menciona la dificultad a la hora de realizar los informes de prácticas presentados en el apartado anterior, lo que revela la necesidad de incentivar la motivación del estudiante con más sesiones prácticas, no sólo en la realización a nivel de laboratorio sino en “cultivar” su pensamiento crítico y de resolución de problemas.

## **4. MEJORAS FUTURAS - SIMULACIÓN**

Si bien es cierto que los resultados obtenidos, tanto en la evaluación del alumno como en la opinión de los mismos, demostraron que la práctica con torres piloto es una muy buena técnica de aprendizaje de ambas operaciones unitarias, presenta cierta limitación por los problemas reales que puedan producirse y los cuales deben mantenerse bajo control por estar en un recinto físico y real. En este caso, el alumnado trabajó bajo condiciones óptimas controladas por el docente, tomando decisiones sobre, por ejemplo, el caudal a utilizar para aumentar la producción de metanol o la absorción del ácido acético con la finalidad de limpiar el aire. Esto implica una buena formación del alumno, fortaleciendo los conceptos teóricos y fomentando el pensamiento crítico y la toma de decisiones. Sin embargo, no pueden apreciar problemas reales derivados de otras fuentes, entre los que se pueden citar los siguientes: qué sucedería si la torre se inunda por un caudal de aire o agua elevado (torre de absorción) o por sobrecalentamiento (torre de destilación), qué pasaría si se produce una sobrepresión en alguna de las corrientes del proceso, etc. Además de conocer estas situaciones de riesgo que se pueden producir en una planta real, el alumno, mediante laboratorios de simulación, puede ver cómo funcionan, ya no sólo las torres en sí, sino los elementos de control (válvulas de seguridad, sensores, etc.). Para poder paliar esta deficiencia, una de las vías de mejora de esta práctica para los próximos cursos puede ser la implementación de laboratorios de simulación,

compartidos entre el alumnado y el docente, siguiendo la misma estructura de roles propuesta en el laboratorio físico. Mediante esta técnica, el alumno podría estudiar, analizar y trabajar con condiciones límites, así como provocar problemas de gran envergadura y que pueden ocurrir en una planta real, estudiando, además las vías de actuación ante ellos.

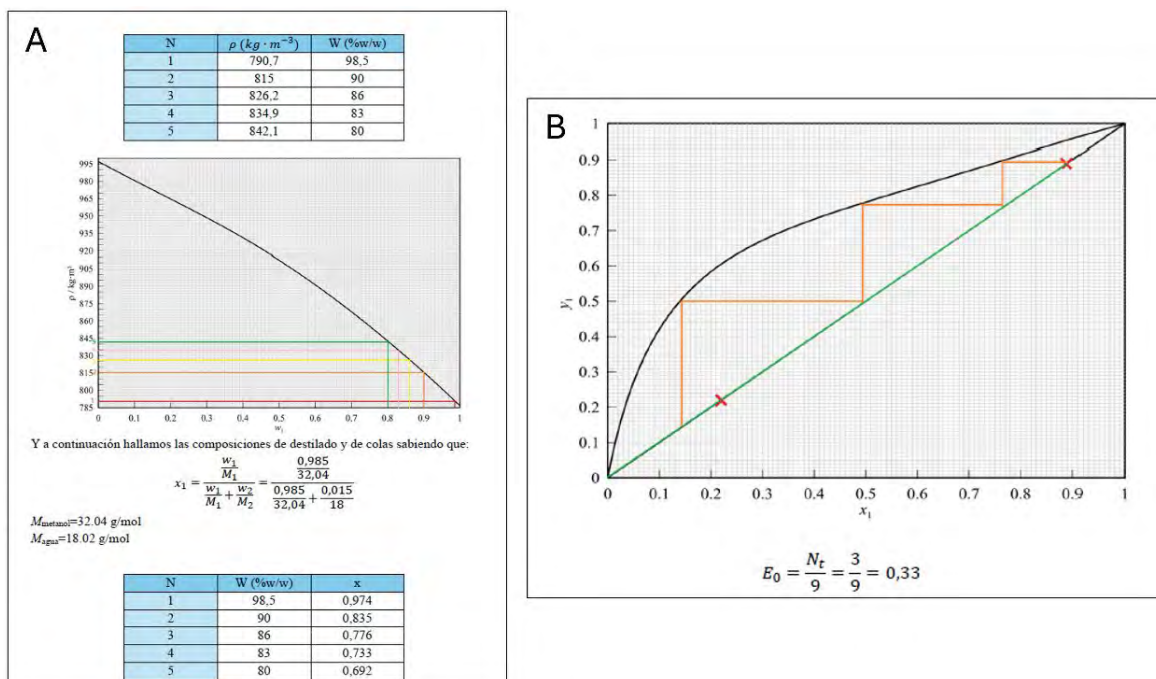


Figura 8. Copia de uno de los informes entregados de la torre de destilación: determinación de la composición de metanol en el destilado usando la técnica de densitometría (A) y determinación gráfica del número de la eficiencia de plato (Método McCabe-Thiele) (B).

A

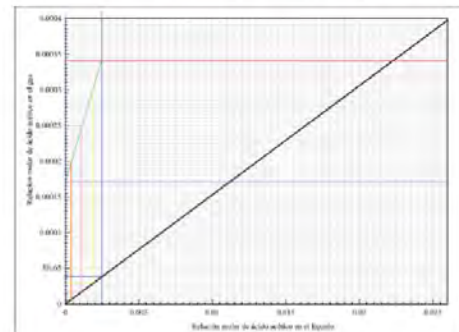
Caudal gas (l/h)	Caudal absorbente (l/h)	Caída de presión (mmHg)	Inundación
180	120	20	No
200	150	8	Si
140	110	5	No

Con 0,1 M de NaOH

Caudal gas (l/h)	Caudal absorbente (l/h)	Caída de presión (mmHg)	Inundación	Tiempo (min)	Volumen NaOH valorado
100	105	2	No	4:52	2,8
100	105	2	No	5:05	2,3
100	105	2	No	5:29	2,9
60	150	2	No	5:17	1,2
60	150	2	No	5:07	1,4

B

Y operación	Y equilibrio
0,000175	0
0,000342	$4,5 \cdot 10^{-5}$
0,0003	$3 \cdot 10^{-5}$
0,00025	$2,2 \cdot 10^{-5}$
0,0002	$0,7 \cdot 10^{-5}$



Con esto obtenemos los valores de NTU con su calculadora de Excel, que nos da el siguiente valor:

$$NTU = \sum \left( \frac{1}{(y_{sol} - y_{sol,e})} \right) dy_{sol} = 0,73$$

Con NTU calculada hallaremos HTU conociendo la altura de la torre  $Z=1,5$  m

$$HTU = \frac{Z}{NTU} = 2,78$$

Figura 9. Copia de uno de los informes entregados para la torre de absorción: determinación del caudal de inundación y los sucesivos caudales de funcionamiento de la torre (A) y determinación de los parámetros de diseño de la torre (B).

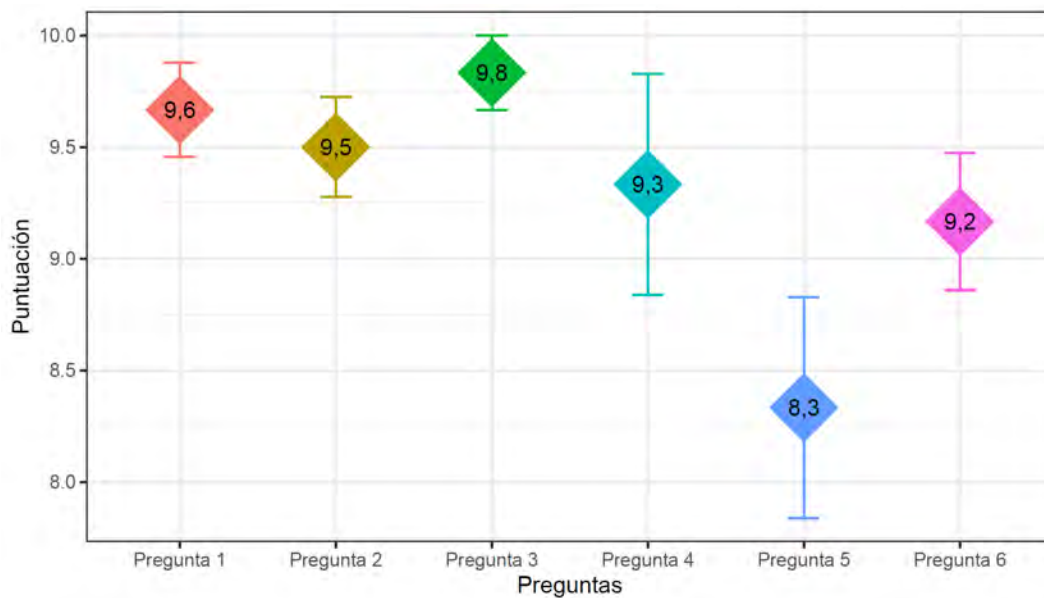


Figura 10. Puntuaciones medias tras la encuesta realizada a los alumnos – Grado en Ingeniería Química Industrial.

## 5. CONCLUSIONES

En aras a los resultados obtenidos, la implementación de vídeos interactivos más la actividad práctica con la maniobra de plantas piloto y asignación de roles tuvo, en términos generales, un impacto positivo en el estudiantado de la asignatura de

Operaciones Básicas II, impartida en 3<sup>er</sup> curso del GIQI. Este impacto se observó en la realización de la propia práctica, así como en la preparación de las tareas finales entregadas por el alumno. Con esta actividad práctica, basada en un aprendizaje experiencial, el alumno refuerzó las bases y conceptos teóricos impartidos en el aula mediante un aprendizaje por descubrimiento y la observación de casos reales, en los que han tenido que aplicar dichos conceptos teóricos, viendo su aplicabilidad. Debido a ello, con esta actividad, no sólo se incentivó una comprensión más profunda, sino que también los alumnos fomentaron su capacidad resolutoria y la toma de decisiones propias en instalaciones de esta índole (cambiar patrones de diseño como, por ejemplo, la relación de reflujo en la torre de destilación para aumentar la producción de metanol, los caudales de aire y agua para una mayor separación del ácido acético en la torre de absorción, etc.). Además del aprendizaje experiencial, el aprendizaje cooperativo tuvo también una repercusión bastante alta, con un desarrollo responsable, respetuoso y activo de las tareas asignadas. Este aprendizaje experiencial y a la vez cooperativo fue destacado por el propio estudiantado, tal y como lo reveló la encuesta que se le realizó a los propios estudiantes, los cuales demostraron un elevado grado de satisfacción con la actividad. Mediante esta vía, se evaluaron los resultados obtenidos en la actividad, ya no sólo desde el trabajo realizado por los estudiantes, sino que se contó con la visión de los propios participantes de la actividad y del proceso de aprendizaje en general. De esta manera, se pueden solventar posibles errores y considerar más innovaciones de la actividad en los próximos cursos (como la incorporación de laboratorios de simulación), con el fin de ir incorporando paulatinamente este tipo de aprendizaje experiencial y cooperativo en un estudiantado con una preparación basada en el control de procesos químicos y resolución de problemas, como son los próximos egresados de Ingeniería Química e Ingeniería Química Industrial.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos la concesión del proyecto de innovación educativa PIE-INT 2025-03, *Mejora del Aprendizaje colaborativo en entornos de laboratorio mediante la integración de simulación e Inteligencia Artificial (SIMULAB-IA)*.

### REFERENCIAS

- [1]. Billet, A. M., Camy, S., & Coufort, C.: Pilot-scale laboratory instruction for ChE: The specific case of the pilot-unit leading group. *Chemical Engineering Education* 44(4), 246-252 (2010).
- [2]. Ortiz, F.J.G.: A pilot-scale laboratory experience for an inductive learning of hydrodynamics in a sieve-tray tower. *Education for Chemical Engineers* 29, 42-55 (2019).
- [3]. Kim, B.: Design and operation of pilot-scale educational chemical plant. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 105737 (2025).
- [4]. Price, M.J. & Felder, R. M.: Inductive teaching and learning methods: definitions, comparisons and research bases. *Journal of Engineering Education* 95(2), 123-138 (2006).
- [5]. Dewey, L: Experience and education. Macmillan Company, New York (1938).
- [6]. Tembrevilla, G., Phillion, A., Zeandin, M.: Experiential learning in engineering education: A systemic literature review. *Journal of Engineering Education* 113(1), 195-218 (2023).
- [7]. Universidad de León: <https://servicios.unileon.es/innovacion-docente/aprendizaje-cooperativo-y-aprendizaje-colaborativo/>. Último acceso 2025/10/9.
- [8]. McCabe, W.L., Smith, J.C., Harriott, P. Unit operations of chemical engineering. McGraw-Hill, New York (2005).

La idea es que estos estudiantes actúen como soporte técnico durante las sesiones prácticas, permitiendo que el profesorado se centre en la evaluación pedagógica del recurso. Además, se prevé designar a un alumno coordinador que facilite la comunicación entre docentes y colaboradores, y organice la asistencia técnica en las distintas actividades del proyecto.

## 2.5 Evaluación prevista

Para medir el impacto del proyecto HiFU, se están desarrollando dos instrumentos principales:

### 1. Prueba de conocimientos (pretest y postest)

Se elaborará un cuestionario de 20 preguntas de opción múltiple diseñado para evaluar la capacidad del alumnado para identificar estructuras histológicas y comprender relaciones espaciales.

- Composición: 10 preguntas relacionadas con los contenidos de las unidades didácticas y 10 preguntas de control (con material no incluido en los recursos de estudio) para garantizar la homogeneidad en conocimientos previos.
- Validación: Dos expertos de cada universidad revisarán las preguntas para asegurar su pertinencia, precisión y alineación con el currículo.
- Aplicación: Se realizará antes y después de la intervención, sin impacto en la calificación académica.

### 2. Encuesta de satisfacción

Se aplicará una encuesta anónima para conocer la percepción del alumnado sobre la experiencia de aprendizaje con el microscopio virtual inmersivo.

- Formato: 20 ítems en escala Likert de 5 puntos, adecuada para estudios en Ciencias de la Salud.
- Objetivo: Valorar la facilidad de uso, la utilidad pedagógica y el grado de satisfacción con la metodología basada en realidad virtual, además de identificar áreas de mejora.
- Implementación: Se realizará mediante formularios digitales (Google Forms) al finalizar cada experiencia.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proyecto fue concedido el 12 de septiembre de 2025, coincidiendo con el inicio del segundo semestre del curso 2025-26. Actualmente se encuentra en fase de desarrollo técnico y didáctico. Se están definiendo dos unidades para la intervención (actualmente sistema respiratorio y tráquea humana), seleccionando preparados histológicos comunes a las asignaturas de ULPGC y ULL. Las muestras han sido escaneadas en alta resolución (objetivos 4x, 10x, 20x y 40x) y se han identificado y etiquetado más de 30 estructuras clave (epitelios, vasos, cartílago hialino), vinculando los metadatos mediante reuniones periódicas con ingenieros y docentes.

En paralelo, se ha completado la configuración inicial de la aplicación en dispositivos del profesorado y se han adquirido equipos adicionales (routers) para garantizar la conectividad. Se han resuelto incidencias técnicas relacionadas con el acceso remoto a la plataforma y se prevé iniciar en noviembre tres sesiones de formación para docentes, verificando la compatibilidad con la infraestructura de las aulas. Este avance permite estimar que la fase de pruebas piloto comenzará en el primer trimestre de 2026, tras la validación funcional de la herramienta.

Uno de los principales campos de aplicación de la RV en los últimos años, gracias al creciente desarrollo tecnológico, ha sido el médico [7]. Concretamente, desde el punto de vista del aula universitaria, la clase magistral en su concepción actual, es decir, la clase basada en el profesor con alumnos como receptores pasivos y con bajo nivel de interactividad, pierde parte de su valor en la formación de los futuros profesionales. Nuevos espacios de formación con funciones específicas, nuevas tecnologías y metodologías constituyen el eje de este cambio de paradigma educativo que necesita la medicina del siglo XXI [10]. Sin embargo, el uso de la RV debe ser medido y ha de valorarse su idoneidad, ya que las aplicaciones virtuales educativas deben considerar además las Técnicas de Enseñanza, los Objetivos Educativos y los Estilos de Aprendizaje con la finalidad de desarrollar aplicaciones centradas en el alumno, y no sólo en el contenido [11].

El presente proyecto de innovación educativa pretende precisamente compaginar el uso de la aplicación, de un claro enfoque técnico, con la formación reglada. Con la participación de la comunidad estudiantil se logrará probar el ambiente

virtual de aprendizaje, siendo una experiencia de contrapartida entendiéndose que se ha ganado en experiencia docente, como también en proceso de aprendizaje por parte de los estudiantes.

#### 4. CONCLUSIONES

El proyecto HiFU representa una iniciativa innovadora en el ámbito de la docencia universitaria, orientada a integrar tecnologías inmersivas en la enseñanza de la Histología. Aunque aún se encuentra en fase de diseño y desarrollo de unidades didácticas en la ULPGC y la ULL, se plantea como una experiencia exploratoria que busca transformar el aprendizaje tradicional mediante el uso de microscopios virtuales.

Se espera que esta herramienta permita al alumnado interactuar con contenidos histológicos de forma tridimensional, favoreciendo la comprensión visual, la motivación y el aprendizaje significativo. Además, se pretende desvincular el uso de la RV de su asociación con el ocio, posicionándola como un recurso educativo potente y accesible. Los medios virtuales ofrecen una alternativa especialmente útil para estudiantes con dificultades para alcanzar la competencia técnica.

La participación activa de estudiantes colaboradores y el interés mostrado en las primeras presentaciones del proyecto refuerzan el potencial de esta tecnología como medio para mejorar la experiencia formativa en ciencias biomédicas. En fases posteriores, se evaluará su impacto mediante encuestas de satisfacción y análisis de resultados académicos.

Se espera que la integración de RV inmersiva e interactiva en la enseñanza de Histología contribuya a mejorar la adquisición y retención del conocimiento, aumentar la motivación del alumnado y reducir barreras cognitivas en el aprendizaje de contenidos complejos. A medida que esta tecnología evoluciona, su incorporación en los planes de estudio podría volverse cada vez más viable, con aplicaciones que podrían extenderse más allá de la formación de grado hacia áreas especializadas como la anatomía patológica o la investigación biomédica. Dado que el uso de esta tecnología en educación médica aún se encuentra en una fase inicial, sus beneficios y limitaciones requieren una evaluación rigurosa a través de estudios como el que actualmente se está desarrollando.

#### REFERENCIAS

1. Salinas J. Innovación docente y uso de las TIC en la enseñanza universitaria. RUSC Universities and Knowledge Society Journal. 2004 Oct 1;1(1).
2. Arbeláez Gómez MC. Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) un instrumento para la investigación. Investigaciones Andina. 2014;16(29):997–1000.
3. UNESCO. El Futuro del aprendizaje móvil: implicaciones para la planificación y la formulación de políticas - UNESCO Digital Library [Internet]. 2013 [cited 2025 Oct 15]. Available from: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000219637\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000219637_spa)
4. Salcines Talledo I, González Fernández N. Diseño y Validación del Cuestionario “Smartphone y Universidad. Visión del Profesorado” (SUOL). Revista Complutense de Educación [Internet]. 2016 [cited 2025 Oct 15];27(2):603–32. Available from: <https://revistas.ucm.es/index.php/RCED/article/view/46912>
5. Vallet Bellmunt TM, Rivera Torres P, Vallet Bellmunt I, Bel Oms I, Zubiría Ferriols E, Martínez Fernández MT. El móvil en las universidades como instrumento de respuesta de audiencias. Revista DIM: Didáctica, Innovación y Multimedia, ISSN-e 1699-3748, Nº 37, 2019 (Ejemplar dedicado a: Junio) [Internet]. 2019 [cited 2025 Oct 15];(37):1. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/citart?info=link&codigo=6973664&orden=1>
6. Rimale Z, Benlahmar EH, Tragha A, El Guemmat K. Survey on the Use of the Mobile Learning Based on Mobile Cloud Computing. International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM) [Internet]. 2016 Jul 26 [cited 2025 Oct 15];10(3):35–41. Available from: <https://online-journals.org/index.php/i-jim/article/view/5672>
7. López C. Uso de las tecnologías de la información y la comunicación en la administración curricular de postgrado. Investigación y Postgrado [Internet]. 2014 [cited 2025 Oct 15];29(1):128–46. Available from: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-00872014000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-00872014000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
8. Hamilton PW, Wang Y, McCullough SJ. Virtual microscopy and digital pathology in training and education. APMIS [Internet]. 2012 Apr 1 [cited 2025 Oct 16];120(4):305–15. Available from: [/doi/pdf/10.1111/j.1600-0463.2011.02869.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0463.2011.02869.x)
9. Castro Alonso PLuis. Realidad extendida: nuevas tecnologías en la mejora de la docencia. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica; 2024.

10. Vázquez-Mata G. Virtual reality and simulation in the training of medical students. *Educación Médica* [Internet]. 2008 [cited 2025 Oct 15];11:29–31. Available from: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1575-18132008000500006&lng=en&nrm=iso&tlng=en](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1575-18132008000500006&lng=en&nrm=iso&tlng=en)
11. De Antonio Jiménez A, Villalobos Abarca M, Luna Ramírez E. Cuando y Cómo usar la Realidad Virtual en la Enseñanza. *Revista de enseñanza y tecnología*, ISSN 1138-7386, N° 16, 2000, págs 26-36 [Internet]. 2000 [cited 2025 Oct 15];(16):26–36. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9059011>

