

Uso de simulaciones computacionales para la enseñanza del flujo turbulento en educación universitaria

Leonard Aguilar-Fernández
<https://orcid.org/0009-0001-0913-5353>
aguilarleonard90@gmail.com
UNEXPO, Vicerrectorado Puerto Ordaz
Ciudad Guayana, Venezuela

Autor de correspondencia: aguilarleonard90@gmail.com

Recibido (09/07/2025), Aceptado (17/11/2025)

Resumen. Este estudio analizó el uso de simulaciones computacionales como recurso didáctico complementario para la enseñanza del flujo turbulento en educación universitaria. Se empleó un enfoque cuantitativo con diseño cuasiexperimental pretest–posttest, comparando un grupo de control con un grupo experimental de estudiantes de ingeniería. El grupo experimental integró simulaciones basadas en *ANSYS Fluent* y *OpenFOAM* dentro de una enseñanza guiada. Los resultados mostraron mejoras en ambos grupos, con una mayor ganancia de aprendizaje conceptual y ganancia normalizada en el grupo experimental. Se concluye que las simulaciones fortalecen la comprensión conceptual sin reemplazar la enseñanza tradicional.

Palabras clave: simulaciones computacionales, flujo turbulento, educación universitaria.

Use of Computational Simulations for Teaching Turbulent Flow in Higher Education

Abstract. This study analyzed the use of computational simulations as a complementary teaching resource for turbulent flow instruction in higher education. A quantitative approach with a quasi-experimental pretest–posttest design was employed, comparing a control group with an experimental group of engineering students. The experimental group integrated simulations based on *ANSYS Fluent* and *OpenFOAM* within a guided instructional framework. The results showed improvements in both groups, with higher conceptual learning gains and normalized gain in the experimental group. It is concluded that computational simulations strengthen conceptual understanding without replacing traditional teaching methods.

Keywords: computational simulations, turbulent flow, higher education.

I. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de los fenómenos asociados al flujo turbulento constituye uno de los mayores desafíos en la formación universitaria en ingeniería y ciencias aplicadas. La complejidad matemática de los modelos, la naturaleza no lineal del fenómeno y la dificultad para su visualización suelen generar barreras conceptuales que afectan la comprensión profunda de los estudiantes, especialmente cuando el proceso de enseñanza se limita a enfoques tradicionales centrados en la exposición teórica [1], [2].

En el contexto de la educación universitaria contemporánea, se reconoce cada vez más la necesidad de incorporar estrategias didácticas que favorezcan el aprendizaje activo, la comprensión conceptual y la integración entre teoría y aplicación. Diversos estudios han evidenciado que el uso exclusivo de métodos tradicionales resulta insuficiente para el aprendizaje de fenómenos físicos complejos, como la turbulencia, donde la interpretación espacial, temporal y dinámica desempeña un rol fundamental [3]. En este sentido, la educación en ingeniería demanda recursos pedagógicos que permitan representar de manera intuitiva procesos que no son directamente observables.

Las simulaciones computacionales han emergido como una herramienta educativa de alto valor para la enseñanza de la mecánica de fluidos y la transferencia de calor. Estas permiten visualizar campos de velocidad, presión y vorticidad, facilitando la exploración de escenarios diversos y el análisis de variables que, en un laboratorio convencional, resultarían difíciles de controlar o incluso imposibles de observar [4]. Desde una perspectiva pedagógica, las simulaciones favorecen la construcción del conocimiento mediante la experimentación virtual, el análisis comparativo y la formulación de hipótesis, elementos centrales del aprendizaje significativo [5].

En particular, la enseñanza del flujo turbulento mediante simulaciones computacionales ofrece una oportunidad para superar la brecha existente entre la formulación teórica y la comprensión física del fenómeno. Al interactuar con modelos computacionales, los estudiantes pueden observar la evolución del flujo, identificar patrones turbulentos y relacionar parámetros adimensionales con comportamientos físicos concretos, fortaleciendo su razonamiento científico [6]. Este enfoque no busca reemplazar el fundamento teórico, sino complementarlo mediante recursos visuales e interactivos que potencien la comprensión.

Desde el ámbito de la educación superior, la integración de simulaciones en el aula se alinea con las tendencias actuales de la educación STEM, que promueven el uso de tecnologías digitales para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje. Investigaciones previas han demostrado que las simulaciones interactivas, cuando se incorporan de manera estructurada y con objetivos pedagógicos claros, contribuyen significativamente a la mejora del aprendizaje conceptual y al desarrollo de habilidades analíticas en estudiantes universitarios [7].

En este contexto, el presente estudio se orienta a analizar el uso de simulaciones computacionales como estrategia didáctica para la enseñanza del flujo turbulento en educación universitaria. El trabajo busca aportar evidencia educativa sobre el potencial de estas herramientas para fortalecer la comprensión conceptual de fenómenos complejos en el ámbito de los termofluidos, promoviendo una enseñanza más activa, visual y coherente con las demandas formativas actuales.

II. MARCO TEÓRICO

La enseñanza de la mecánica de fluidos, y en particular del flujo turbulento, ha sido ampliamente reconocida como un área de alta dificultad conceptual en la educación universitaria en ingeniería. La naturaleza no lineal del fenómeno, la dependencia de múltiples variables y la abstracción matemática asociada a su modelado generan obstáculos cognitivos que dificultan la comprensión profunda por parte de los estudiantes [8], [9]. Diversos estudios señalan que muchos alumnos logran resolver ejercicios de manera procedimental, pero presentan limitaciones significativas al momento de interpretar físicamente el comportamiento del flujo [10].

Desde la perspectiva de la didáctica de las ciencias y la ingeniería, esta brecha entre formalismo matemático y comprensión conceptual constituye un problema recurrente. La literatura educativa coincide en que los enfoques centrados exclusivamente en clases magistrales y resolución algorítmica de problemas resultan insuficientes para favorecer aprendizajes significativos cuando se abordan fenómenos altamente dinámicos y tridimensionales, como la turbulencia [11]. En este contexto, se hace necesario incorporar recursos que permitan representar, explorar y analizar estos fenómenos de forma más intuitiva.

A. Simulaciones computacionales como recurso didáctico

Las simulaciones computacionales han adquirido un rol protagónico en la enseñanza de las ciencias aplicadas, al permitir la visualización de procesos físicos complejos y la experimentación controlada en entornos virtuales. En el ámbito educativo, estas herramientas facilitan la representación gráfica de campos de velocidad, presión y vorticidad, ofreciendo a los estudiantes una aproximación visual y dinámica a fenómenos que, de otro modo, permanecerían abstractos [12].

Desde un enfoque pedagógico, el uso de simulaciones se vincula con modelos de aprendizaje activo y constructivista, en los que el estudiante interactúa con el contenido, formula hipótesis y analiza resultados. Investigaciones previas han demostrado que las simulaciones computacionales, cuando se integran de manera planificada y con objetivos claros, contribuyen a mejorar la comprensión conceptual, el razonamiento científico y la motivación por el aprendizaje en cursos universitarios de ingeniería [13], [14]. En particular, el uso de simulaciones en mecánica de fluidos permite explorar diferentes regímenes de flujo, modificar parámetros adimensionales y observar la transición entre flujo laminar y turbulento, favoreciendo una comprensión más profunda del fenómeno más allá de su formulación matemática [9].

B. Simulaciones y aprendizaje conceptual del flujo turbulento

El flujo turbulento representa un caso paradigmático de fenómeno complejo cuya enseñanza se beneficia notablemente del apoyo de herramientas computacionales. La posibilidad de observar estructuras turbulentas, fluctuaciones temporales y patrones espaciales contribuye a que los estudiantes desarrollen una representación mental más coherente del fenómeno [8], [15]. Estudios en educación en ingeniería han evidenciado que la visualización interactiva del flujo mejora la capacidad de los estudiantes para relacionar conceptos teóricos con comportamientos físicos observables [16].

Asimismo, la incorporación de simulaciones computacionales en el aula favorece el desarrollo de habilidades cognitivas de orden superior, como el análisis, la interpretación y la toma de decisiones fundamentadas en evidencia. En lugar de centrarse únicamente en la obtención de resultados numéricos, los estudiantes pueden reflexionar sobre el significado físico de las variables y evaluar el impacto de distintos supuestos de modelado, fortaleciendo su pensamiento crítico [17]. Desde esta perspectiva, el uso de simulaciones computacionales para la enseñanza del flujo turbulento no debe entenderse como un reemplazo de la teoría, sino como un complemento que potencia el aprendizaje conceptual y facilita la integración entre conocimiento científico, tecnología y práctica educativa en el nivel universitario.

III. METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con alcance cuasi experimental, debido a la imposibilidad de asignar aleatoriamente a los participantes a los grupos de estudio. Se empleó un diseño *pretest-postest* con grupo de control (20 estudiantes), ampliamente utilizado en investigaciones educativas para evaluar el efecto de una intervención pedagógica sobre el aprendizaje conceptual. Este diseño permitió comparar los resultados de aprendizaje entre un grupo que recibió enseñanza tradicional y otro que participó en un proceso de enseñanza apoyado por simulaciones computacionales, garantizando coherencia con los objetivos educativos del estudio y con las características del contexto universitario.

A. Contexto y participantes

La investigación se llevó a cabo en una institución de educación superior, en el marco de un curso obligatorio de mecánica de fluidos y termofluidos correspondiente a carreras de ingeniería. La población estuvo conformada por estudiantes matriculados en dicho curso durante un período académico regular. La muestra se seleccionó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, quedando conformada por dos grupos intactos: un grupo de control y un grupo experimental, ambos con características académicas (tercer semestre) y demográficas similares (18 a 21 años). El grupo de control recibió instrucción mediante metodología tradicional, basada en clases magistrales y resolución de problemas, mientras que el grupo experimental participó en actividades de aprendizaje apoyadas por simulaciones computacionales.

B. Simuladores utilizados en la intervención educativa

Para la intervención pedagógica se emplearon simuladores computacionales de dinámica de fluidos con fines educativos, seleccionados por su accesibilidad, capacidad de visualización y pertinencia pedagógica. En particular, se utilizaron:

- *ANSYS Fluent (Academic Version)*, para la visualización de campos de velocidad y patrones de flujo turbulento en geometrías simples, permitiendo a los estudiantes observar el comportamiento del flujo bajo diferentes condiciones de operación.
- *OpenFOAM*, como plataforma de código abierto, utilizada en escenarios previamente configurados para fines didácticos, facilitando la exploración conceptual sin requerir conocimientos avanzados de programación.

El uso de estos simuladores se limitó a entornos guiados, con modelos previamente definidos por el docente, evitando una carga excesiva de modelado numérico y priorizando la comprensión conceptual del fenómeno.

C. Intervención pedagógica

La intervención educativa se desarrolló durante varias sesiones del curso, centradas en el tema de flujo turbulento. En el grupo experimental, las clases integraron el uso de simulaciones computacionales previamente seleccionadas o desarrolladas con fines educativos, las cuales permitieron visualizar campos de velocidad, líneas de corriente y patrones de comportamiento del flujo. Las actividades fueron diseñadas bajo un enfoque de aprendizaje activo, incluyendo guías de exploración, preguntas orientadoras y ejercicios de análisis conceptual. Los estudiantes interactuaron con las simulaciones modificando parámetros relevantes y observando los efectos sobre el comportamiento del flujo, promoviendo la reflexión y la construcción del conocimiento. En contraste, el grupo de control abordó los mismos contenidos mediante explicación teórica y resolución de ejercicios sin apoyo de simulaciones, usando libros tradicionales.

D. Instrumentos de recolección de datos

Para evaluar el aprendizaje conceptual del flujo turbulento, se diseñó y aplicó un instrumento de evaluación compuesto por preguntas de opción múltiple y preguntas de interpretación conceptual, alineadas con los objetivos de aprendizaje del curso. El instrumento fue aplicado como *pretest* al inicio de la intervención y como *postest* al finalizarla, en ambos grupos. El instrumento fue sometido a un proceso de validación por juicio de expertos en el área de termofluidos y educación en ingeniería, con el fin de garantizar su validez de contenido y claridad conceptual. Asimismo, se realizó un análisis de consistencia interna para verificar la confiabilidad del instrumento.

E. Procedimiento

En una primera fase, se aplicó el *pretest* a ambos grupos para identificar el nivel inicial de comprensión conceptual sobre el flujo turbulento. Posteriormente, se desarrolló la intervención pedagógica durante el período establecido, asegurando que ambos grupos abordaran los mismos contenidos y objetivos de aprendizaje, diferenciándose únicamente en el uso de simulaciones computacionales. Al finalizar la intervención, se aplicó el *postest* a ambos grupos bajo condiciones equivalentes. Los datos obtenidos fueron codificados y organizados para su posterior análisis estadístico, respetando criterios éticos de confidencialidad y uso responsable de la información.

F. Análisis de datos

El análisis de los datos se realizó mediante estadística descriptiva e inferencial. Se calcularon medidas de tendencia central y dispersión para describir el desempeño de los estudiantes en el *pretest* y *postest*. Para determinar la existencia de diferencias significativas entre el grupo de control y el grupo experimental, se aplicaron pruebas estadísticas paramétricas o no paramétricas, según la distribución de los datos. Asimismo, se analizó la ganancia de aprendizaje en ambos grupos, con el objetivo de evaluar el efecto de la intervención basada en simulaciones computacionales sobre la comprensión conceptual del flujo turbulento.

La investigación se desarrolló respetando los principios éticos de la investigación educativa. La participación

de los estudiantes fue voluntaria y se garantizó la confidencialidad de los datos recolectados. Los resultados fueron utilizados exclusivamente con fines académicos y de mejora de los procesos de enseñanza y aprendizaje.

IV. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados del estudio, donde se han considerado las diferentes fases del proceso y los diferentes simuladores en cada caso.

A. Resultados del diagnóstico inicial (*pretest*)

Con el propósito de establecer el nivel inicial de comprensión conceptual sobre el flujo turbulento, se aplicó un *pretest* tanto al grupo de control como al grupo experimental, cada uno conformado por 20 estudiantes. Este diagnóstico permitió verificar la equivalencia inicial entre los grupos antes de la intervención pedagógica (Tabla 1). El instrumento evaluó aspectos conceptuales relacionados con la identificación del régimen turbulento, la interpretación cualitativa del comportamiento del flujo y la comprensión básica de variables asociadas al fenómeno.

En cuanto al *pretest*, los resultados obtenidos evidenciaron un desempeño inicial comparable entre ambos grupos, lo que valida la pertinencia del diseño cuasi experimental y permite atribuir posteriormente las diferencias observadas a la intervención educativa y no a condiciones iniciales desiguales.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos del *pretest*.

Grupo	n	Media	Desviación estándar	Puntaje mínimo	Puntaje máximo
Grupo de control	20	10,8	1,9	7	14
Grupo experimental	20	11,1	2,0	8	15

Los valores de la media y la dispersión muestran que ambos grupos partieron de un nivel de comprensión conceptual similar, con variabilidad moderada en los puntajes, lo cual es consistente con lo reportado en la literatura para cursos universitarios de termofluidos.

Desde una perspectiva educativa, los resultados del *pretest* indican que la enseñanza tradicional ha permitido a los estudiantes adquirir conocimientos básicos sobre el flujo turbulento, particularmente en términos de definiciones y reconocimiento general del fenómeno. Sin embargo, los puntajes obtenidos también sugieren márgenes de mejora en la comprensión conceptual profunda, especialmente en la interpretación física del comportamiento del flujo. Este diagnóstico inicial no cuestiona la efectividad de la enseñanza tradicional, sino que pone de manifiesto la complejidad inherente del contenido y la necesidad de explorar estrategias complementarias que fortalezcan la visualización y el razonamiento conceptual, como el uso de simulaciones computacionales.

La Figura 1 muestra que ambos grupos presentan distribuciones similares, con medianas cercanas y rangos intercuartílicos comparables. Esto refuerza la idea de que las diferencias iniciales entre los grupos no son significativas y que la variabilidad observada es propia de la heterogeneidad normal del aula universitaria. Este tipo de representación resulta especialmente útil en investigaciones educativas, ya que permite analizar no solo promedios, sino también patrones de desempeño estudiantil.

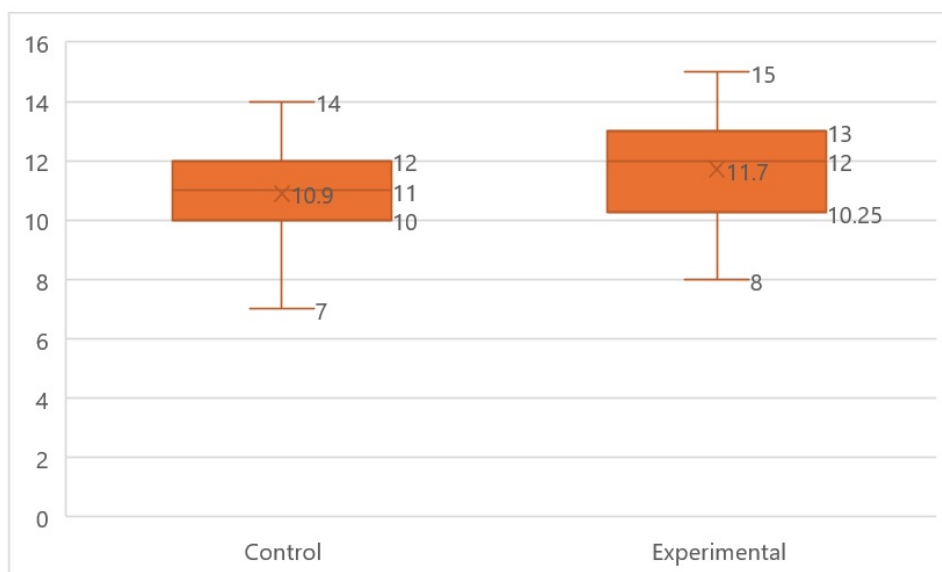


Fig. 1. Análisis visual de la variabilidad.

La Figura 2 muestra que en ambos grupos la mayoría de los estudiantes se concentra en el nivel medio de comprensión conceptual, con pocos casos en los extremos. Esto sugiere que la enseñanza tradicional ha permitido alcanzar un conocimiento básico funcional, pero que aún existen oportunidades para fortalecer la comprensión profunda del fenómeno. Se observa que en el grupo de control existe una mayor incidencia en el nivel bajo, lo que revela la necesidad de reforzar la enseñanza mediante el uso de textos complementarios y otras metodologías activas que permitan una mejor comprensión de los conceptos.

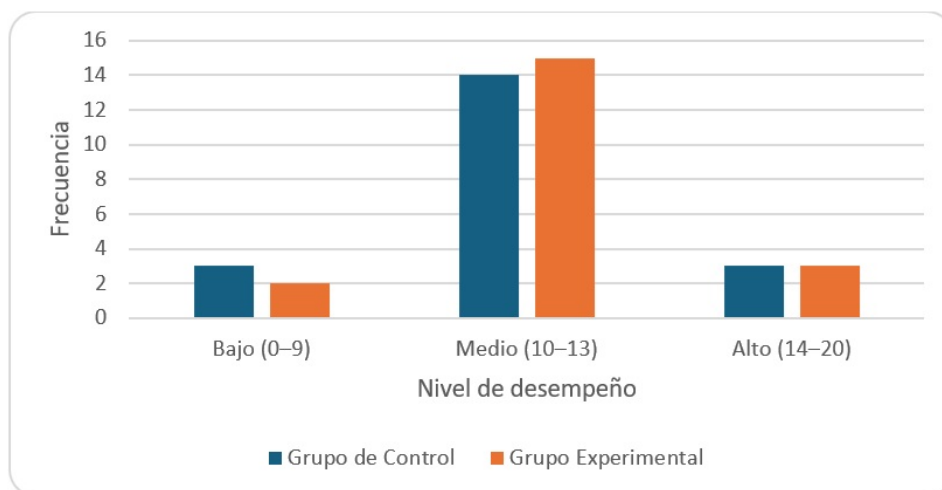


Fig. 2. Nivel de desempeño alcanzado en ambos grupos de estudio.

B. Resultados asociados al uso de simulaciones computacionales

Con el fin de complementar el análisis del aprendizaje conceptual, se incorporaron indicadores específicos relacionados con el uso y la aplicabilidad de los simuladores computacionales empleados en la intervención pedagógica. Estos resultados permiten evidenciar cómo las simulaciones contribuyeron al proceso de enseñanza-aprendizaje, más allá del rendimiento académico medido por pruebas.

Durante la intervención, se registró la participación activa de los estudiantes del grupo experimental en las sesiones apoyadas en simulaciones computacionales (Tabla 2). Tanto *ANSYS Fluent* (versión académica) como

OpenFOAM fueron utilizados en escenarios previamente configurados, con fines exclusivamente didácticos. Se observó que la totalidad de los estudiantes del grupo experimental logró interactuar con ambos simuladores, aunque con distintos niveles de profundidad, lo que permitió analizar su accesibilidad y aplicabilidad en contextos educativos reales.

Tabla 2. Nivel de uso percibido de los simuladores por parte de los estudiantes ($n = 20$).

Nivel de uso	<i>ANSYS Fluent</i>	<i>OpenFOAM</i>
Alto	13	9
Medio	6	8
Bajo	1	3

Estos resultados sugieren que *ANSYS Fluent* presentó una mayor facilidad de uso inicial, asociada a su interfaz gráfica, mientras que *OpenFOAM*, pese a requerir mayor orientación, permitió una comprensión más explícita de la estructura del modelo y del proceso de simulación.

C. Aplicabilidad educativa percibida de los simuladores

Con el objetivo de analizar la pertinencia pedagógica de los simuladores, se aplicó un breve cuestionario al grupo experimental, centrado en la percepción de los estudiantes sobre la utilidad de las simulaciones para comprender el flujo turbulento (Tabla 3).

Tabla 3. Percepción de aplicabilidad educativa de los simuladores

Ítem evaluado	De acuerdo / Totalmente de acuerdo
Las simulaciones facilitaron la visualización del flujo turbulento	18
Las simulaciones ayudaron a relacionar teoría y comportamiento físico	17
El uso del simulador complementó adecuadamente la explicación teórica	19
El simulador permitió comprender mejor variables del flujo	16

Estos resultados evidencian una alta valoración educativa de las simulaciones computacionales, especialmente como herramienta complementaria a la enseñanza tradicional, sin que los estudiantes perciban una sustitución del rol del docente o del enfoque teórico. Desde un enfoque educativo, se analizaron diferencias cualitativas entre ambos simuladores en función de su aplicabilidad en el aula universitaria.

ANSYS Fluent fue valorado principalmente por su capacidad de visualización inmediata, lo que facilitó la comprensión inicial de patrones de flujo turbulento y redujo la carga cognitiva en estudiantes con menor experiencia computacional.

OpenFOAM fue percibido como una herramienta que favorece una comprensión más estructural del proceso de simulación, permitiendo a los estudiantes reflexionar sobre las condiciones de contorno y los supuestos del modelo, aunque requirió mayor acompañamiento docente.

Este resultado sugiere que ambos simuladores cumplen roles pedagógicos complementarios, siendo su combinación una estrategia viable para atender distintos estilos de aprendizaje y niveles de profundidad conceptual.

Un aspecto relevante identificado en los resultados es que los estudiantes no percibieron el uso de simulaciones como una ruptura con la enseñanza tradicional, sino como un refuerzo conceptual. La mayoría manifestó que las explicaciones teóricas previas fueron necesarias para interpretar correctamente los resultados obtenidos en los simuladores. Este hallazgo refuerza la idea de que la enseñanza tradicional y las simulaciones computacionales no son enfoques opuestos, sino estrategias que, cuando se articulan adecuadamente, potencian el aprendizaje conceptual de fenómenos complejos como el flujo turbulento.

D. Resultados del postest y ganancia de aprendizaje conceptual

Una vez concluida la intervención pedagógica, se aplicó el *postest* al grupo de control y al grupo experimental, bajo las mismas condiciones y con el mismo instrumento utilizado en el diagnóstico inicial (Tabla 4). El objetivo fue identificar posibles cambios en la comprensión conceptual del flujo turbulento tras el proceso de enseñanza. Los resultados del *postest* muestran una mejora en el desempeño de ambos grupos, lo que evidencia que tanto la enseñanza tradicional como la enseñanza apoyada en simulaciones favorecen el aprendizaje conceptual cuando se desarrollan de manera sistemática y estructurada.

Tabla 4. Estadísticos descriptivos del *postest*.

Grupo	n	Media	Desviación estándar	Puntaje mínimo	Puntaje máximo
Grupo de control	20	13,2	1,8	10	16
Grupo experimental	20	15,4	1,5	12	18

Se observa que el grupo experimental alcanzó una media superior en el *postest*, acompañada de una ligera reducción en la dispersión de los datos, lo que sugiere una comprensión más homogénea de los conceptos evaluados. Por otra parte, con el propósito de analizar el progreso real de los estudiantes, en la Tabla 5 se muestra el cálculo de la ganancia de aprendizaje, definida como la diferencia entre el puntaje del *postest* y el *pretest* para cada grupo.

Tabla 5. Ganancia promedio de aprendizaje.

Grupo	Media <i>pretest</i>	Media <i>postest</i>	Ganancia promedio
Grupo de control	10,8	13,2	2,4
Grupo experimental	11,1	15,4	4,3

Estos resultados indican que ambos enfoques pedagógicos generaron mejoras significativas en la comprensión conceptual. No obstante, el grupo experimental presentó una ganancia promedio mayor, lo que sugiere que el uso de simulaciones computacionales contribuyó a reforzar y profundizar el aprendizaje logrado mediante la enseñanza tradicional.

La Figura 3 muestra que, en el grupo experimental, la mayoría de los estudiantes evidencia una mejora sostenida entre el *pretest* y el *postest*, con trayectorias de aprendizaje más pronunciadas. En el grupo de control, también se observa progreso, aunque con pendientes más moderadas.

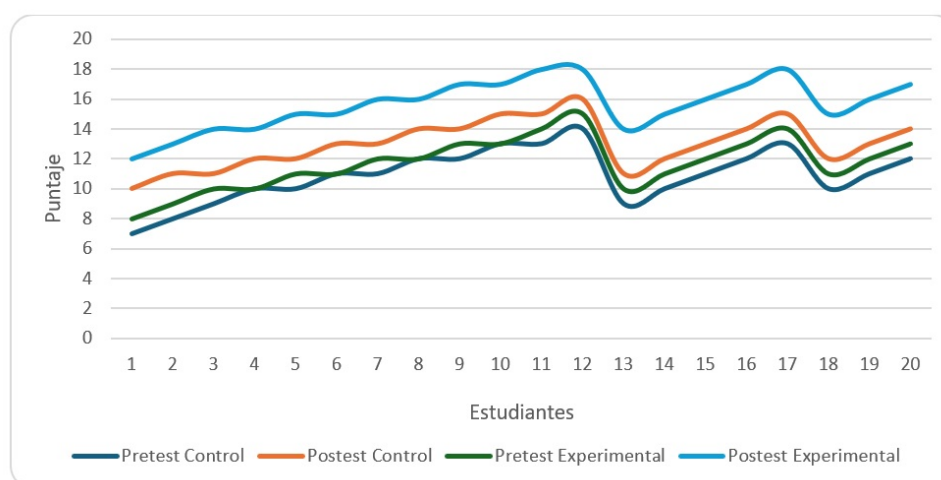


Fig. 3. Progreso individual del aprendizaje conceptual.

La Figura 4 muestra la ganancia normalizada (g), que permite evaluar el aprendizaje logrado en relación con el máximo posible, no solo la diferencia aritmética.

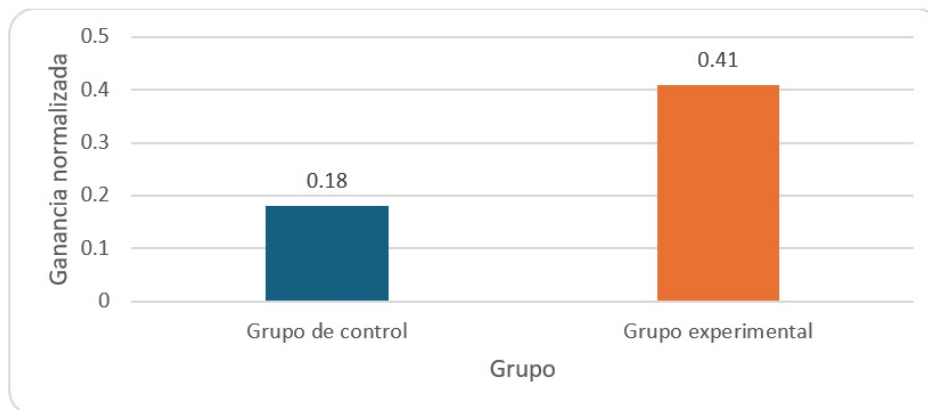


Fig. 4. Comparación de la ganancia de aprendizaje entre grupos.

Desde una perspectiva educativa, los resultados confirman que la enseñanza tradicional continúa siendo un pilar fundamental en la formación universitaria en termofluidos, al proporcionar el marco conceptual necesario para comprender fenómenos complejos. Sin embargo, la integración de simulaciones computacionales permitió fortalecer la visualización, la interpretación física y el razonamiento conceptual, aspectos clave en el aprendizaje del flujo turbulento. La combinación equilibrada de ambos enfoques favoreció un aprendizaje más profundo y significativo, especialmente en contenidos que requieren representación dinámica y análisis cualitativo del comportamiento del sistema.

Los resultados obtenidos evidencian que tanto la enseñanza tradicional como la enseñanza apoyada en simulaciones computacionales favorecen el aprendizaje conceptual del flujo turbulento en educación universitaria. La mejora observada en ambos grupos confirma que la instrucción teórica sistemática continúa siendo un componente esencial en la formación en termofluidos, particularmente para la introducción de conceptos y el desarrollo del lenguaje técnico disciplinar.

No obstante, la mayor ganancia de aprendizaje registrada en el grupo experimental, así como la ganancia normalizada moderada alcanzada, sugieren que el uso de simulaciones computacionales contribuye a fortalecer la comprensión conceptual cuando se integra de manera planificada y guiada. En particular, la visualización dinámica del flujo y la posibilidad de explorar escenarios controlados parecen favorecer la interpretación física del fenómeno y la articulación entre teoría y comportamiento observable.

Asimismo, los resultados asociados al uso de *ANSYS Fluent* y *OpenFOAM* muestran que ambos simuladores presentan una alta aplicabilidad educativa, cumpliendo roles pedagógicos complementarios. Mientras uno facilita la comprensión inicial mediante interfaces visuales, el otro promueve una reflexión más profunda sobre los supuestos y condiciones del modelo. Estos hallazgos refuerzan la idea de que la tecnología educativa no reemplaza la enseñanza tradicional, sino que la potencia cuando se utiliza con objetivos pedagógicos claros.

CONCLUSIONES

El estudio permitió concluir que la enseñanza tradicional sigue siendo un pilar fundamental en la formación universitaria en termofluidos, al proporcionar la base conceptual necesaria para comprender fenómenos complejos como el flujo turbulento.

La incorporación de simulaciones computacionales como recurso didáctico complementario contribuyó a una mayor ganancia de aprendizaje conceptual, especialmente en términos de visualización, interpretación física y razonamiento científico.

Los simuladores utilizados demostraron ser herramientas pedagógicamente viables y accesibles en

contextos educativos reales, siempre que su uso esté acompañado de orientación docente y articulado con la explicación teórica.

Finalmente, los resultados sugieren que la integración equilibrada entre métodos tradicionales y recursos digitales constituye una estrategia eficaz para fortalecer la enseñanza de fenómenos complejos en educación universitaria, abriendo líneas futuras de investigación orientadas a su aplicación en otros contenidos y contextos formativos.

REFERENCIAS

- [1] K. R. Muske, "Simulation and experiment in an introductory process control laboratory experience," *Chemical Engineering Education*, vol. 37, no. 4, pp. 306–315, 2003.
- [2] R. M. Felder and R. Brent, "Learning by doing," *Chemical Engineering Education*, vol. 37, no. 4, pp. 282–283, 2003.
- [3] O. F. Fuentes and S. M. Lillo, "Simulador para la enseñanza de procesos de combustión y transferencia de calor en caldera pirotubular de cuatro pasos," in *Proc. XV Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica*, España, 2022, pp. 1–9.
- [4] T. H. Morris, "Experiential learning – a systematic review and revision of Kolb's model," *Interactive Learning Environments*, vol. 28, no. 8, pp. 1064–1077, 2020, doi: 10.1080/10494820.2019.1570279.
- [5] A. Allen, "An introduction to constructivism: Its theoretical roots and practical implications," *Journal of Learning Design and Leadership*, vol. 1, no. 1, pp. 1–13, 2022.
- [6] P. Marinković, J. A. Medina, M. S. Schöps, M. Klein, and H. Schmidt, "Experiences from the bottom-up development of an object-oriented CFD solver with prospective hybrid turbulence model applications," *Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics*, vol. 24, no. 1, p. e202400190, 2025, art. no. e202400190. doi: 10.1002/pamm.202400190.
- [7] J.-P. Hickey, F. Ambrogio, S. Hillcoat, J. Joseph, and N. Lokanathan, "ARC4CFD: Learning how to leverage high-performance computing with computational fluid dynamics," *The Journal of Open Source Education*, vol. 5, no. 49, p. 252, 2022, doi: 10.21105/jose.00252.
- [8] S. Pandey, R. Xu, W. Wang, and X. Chu, "OpenFOAMGPT: A retrieval-augmented large language model (LLM) agent for OpenFOAM-based computational fluid dynamics," *Physics of Fluids*, vol. 37, no. 3, p. 035120, mar 2025, art. no. 035120. doi: 10.1063/5.0257555.
- [9] N. Somasekharan *et al.*, "CFDLLMBench: A benchmark suite for evaluating large language models in computational fluid dynamics," arXiv preprint arXiv:2509.20374v2 [cs.CL], oct 2025, doi: 10.48550/arXiv.2509.20374.
- [10] R. A. Larez, "Between charges and emotions: An electromagnetic analogy from Coulomb's law," *Athenea*, vol. 6, no. 22, pp. 8–17, oct 2025, doi: 10.47460/athenea.v6i22.107.
- [11] B. Linares-Rodríguez and Y. Montilla-López, "Use of Maple in the teaching of physics in engineering," *Athenea*, vol. 5, no. 17, pp. 7–15, oct 2024, doi: 10.47460/athenea.v5i17.78.
- [12] E. W. Ceballos-Bejarano and A. A. Huaita-Bedregal, "Engineering projects and educational paradigms," *Athenea*, vol. 2, no. 5, pp. 55–60, jan 2022, doi: 10.47460/athenea.v2i5.26.

- [13] J. Weinmeister and D. P. Sanjaya, "An open-source Python package for CFD solution verification," in *Proc. ASME 2025 Verification, Validation, and Uncertainty Quantification Symposium*, College Station, TX, USA, 2025, p. 9, paper No. VVUQ2025-151463. doi: 10.1115/VVUQ2025-151463.
- [14] H. Assaf, "Innovative methods for electro-hydraulic actuation and fluid power education," Ph.D. dissertation, Purdue University, West Lafayette, IN, USA, 2025, doi: 10.25394/PGS.24602646.
- [15] G. Chourdakis, H. Ashraf, S. Narvaez-Rivas, T. Neckel, and H.-J. Bungartz, "Teaching research software engineering skills for developing simulation software," *Electronic Communications of the EASST*, vol. 83, feb 2025, doi: 10.14279/eceasst.v83.2615.
- [16] T. C. Maillard, F. Garzon, L. A. Hawkes, G. R. Tabor, and M. J. Witt, "Refining electronic tagging of marine animals: Computational fluid dynamics and pelagic sharks," *Animals*, vol. 15, no. 20, p. 2956, oct 2025, art. no. 2956. doi: 10.3390/ani15202956.
- [17] H.-B. An and S.-B. Park, "Development of a microscale urban airflow modeling system incorporating buildings and terrain," *Atmosphere*, vol. 16, no. 8, p. 905, jul 2025, art. no. 905. doi: 10.3390/atmos16080905.