Revista esprint Investigación

https://rei.esprint.tech
Vol. 5 N° 2, julio-diciembre 2026 (315-332)

ISSN: 2960-8317

Artículo de revisión

Prototipo educativo de túnel de viento para el aprendizaje de Mecánica de Fluidos

Educational wind tunnel prototype for learning Fluid Mechanics

Patrick Alexander Paredes Romero*
Universidad Nacional de Chimborazo
Riobamba - Ecuador
patrick.paredes@unach.edu.ec
https://orcid.org/0009-0005-0473-5041

Klever David Cajamarca-Sacta
Universidad Nacional de Chimborazo
Riobamba - Ecuador
klever.cajamarca@unach.edu.ec
https://orcid.org/0009-0008-6446-5276

***Correspondencia:**
patrick.paredes@unach.edu.ec

Cómo citar este artículo:
Paredes, P., & Cajamarca-Sacta, K. (2026). Prototipo educativo de túnel de viento para el aprendizaje de Mecánica de Fluidos. *Esprint Investigación, 5*(2), 315-332. https://doi.org/10.61347/ei.v5i2.369

Recibido: *31 de julio de 2026*
Aceptado: *2 de septiembre de 2026*
Publicado: *8 de septiembre de 2026*

Copyright: Derechos de autor 2026 Patrick Alexander Paredes Romero, Klever David Cajamarca-Sacta.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Resumen: El aprendizaje de la Mecánica de Fluidos presenta dificultades asociadas con la comprensión y visualización de fenómenos que suelen abordarse predominantemente desde perspectivas teóricas. El objetivo de esta investigación fue desarrollar un prototipo educativo de túnel de viento y analizar la percepción estudiantil respecto a su diseño, funcionamiento, utilidad didáctica y aceptación como recurso complementario. El estudio integró una fase de desarrollo tecnológico y una fase cuantitativa, con diseño no experimental, transversal y alcance descriptivo. La población estuvo conformada por 60 estudiantes de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales: Matemáticas y Física que habían aprobado la asignatura de Mecánica de Fluidos; mediante muestreo no probabilístico por criterio y participación voluntaria, se obtuvo una muestra de 45 estudiantes. Se aplicó un cuestionario de 10 ítems con escala Likert de cinco puntos, sometido al juicio de tres expertos y con una consistencia interna de α = 0,949. Los resultados mostraron una percepción favorable del prototipo, con una media global de 4,42 sobre 5 (DE = 0,582). Los ítems relacionados con la observación cualitativa del flujo, el principio de Bernoulli y la diferenciación entre patrones laminares y turbulentos superaron el 90 % de respuestas favorables. Se concluyó que el prototipo constituye un recurso complementario pertinente para favorecer la visualización cualitativa de fenómenos de Mecánica de Fluidos en actividades prácticas.

Palabras clave: Aprendizaje experimental, impresión 3D, Mecánica de Fluidos, prototipo educativo, túnel de viento.

Abstract: *Fluid Mechanics learning presents difficulties associated with understanding and visualizing phenomena that are often addressed predominantly from theoretical perspectives. The objective of this study was to develop an educational wind tunnel prototype and analyze students' perceptions regarding its design, operation, didactic usefulness, and acceptance as a complementary learning resource. The study integrated a technological development phase and a quantitative phase with a non-experimental, cross-sectional, and descriptive design. The population consisted of 60 students enrolled in the Experimental Sciences Education: Mathematics and Physics program who had passed the Fluid Mechanics course; through non-probability criterion sampling and voluntary participation, a sample of 45 students was obtained. A 10-item questionnaire using a five-point Likert scale was administered, reviewed by three experts, and showed an internal consistency of α = 0.949. The results revealed a favorable perception of the prototype, with an overall mean score of 4.42 out of 5 (SD = 0.582). Items related to qualitative flow observation, Bernoulli's principle, and the differentiation between laminar and turbulent flow patterns exceeded 90% favorable responses. It was concluded that the prototype constitutes a relevant complementary resource for supporting the qualitative visualization of Fluid Mechanics phenomena during practical activities.*

Keywords*: 3D printing, educational prototype, experimental learning, Fluid Mechanics, wind tunnel.*

1. Introducción

La Mecánica de Fluidos constituye una rama fundamental de la Física y la ingeniería, debido a que estudia el comportamiento de los fluidos en reposo y en movimiento, así como las fuerzas y condiciones que intervienen en dichos procesos. Su comprensión resulta esencial para explicar fenómenos relacionados con presión, velocidad, energía y transferencia de movimiento presentes en múltiples aplicaciones científicas y tecnológicas (Mott & Untener, 2015; Vaidya, 2021).

La enseñanza de esta disciplina puede presentar dificultades debido al nivel de abstracción de conceptos como la relación entre presión y velocidad, el principio de Bernoulli, la continuidad y los regímenes de flujo. Diversas investigaciones han identificado concepciones alternativas y dificultades persistentes en la comprensión de fenómenos asociados con la Mecánica de Fluidos y las ciencias del transporte (Martin et al., 2003; Miller et al., 2011; Suárez et al., 2021; Uyanik et al., 2025).

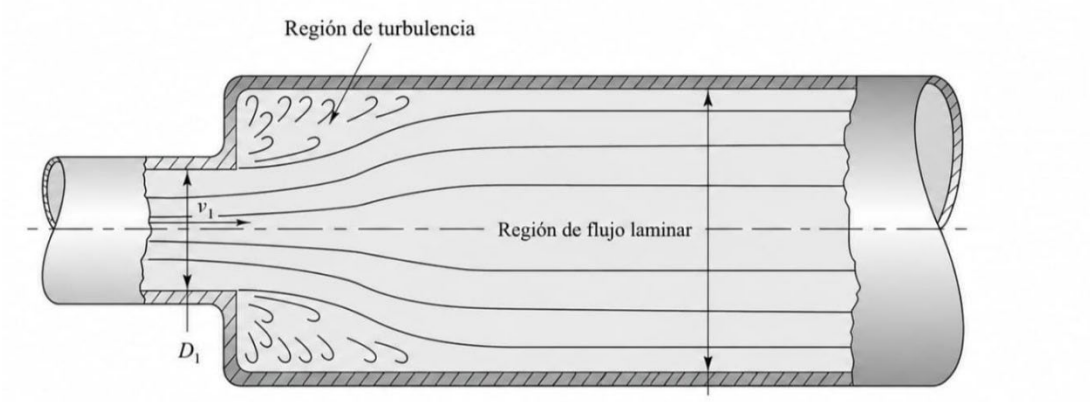
Ante estas dificultades, las experiencias de laboratorio representan una estrategia relevante para relacionar los fundamentos teóricos con manifestaciones físicas observables. La experimentación permite contrastar modelos, interpretar fenómenos y fortalecer aprendizajes en los dominios cognitivo, psicomotor y afectivo. En ingeniería y ciencias aplicadas, esta integración entre teoría y práctica constituye una función central de la formación experimental (Feisel & Rosa, 2005; Ma & Nickerson, 2006; Brinson, 2015; Nikolic et al., 2024).

La incorporación de experiencias prácticas también responde a los principios del aprendizaje activo, en el cual el estudiante participa directamente en la exploración, análisis y resolución de problemas. La evidencia disponible muestra que las metodologías que favorecen una participación activa pueden mejorar el desempeño académico y la comprensión conceptual en disciplinas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas frente a enfoques exclusivamente expositivos (Prince, 2004; Freeman et al., 2014).

La figura 1 representa el comportamiento del flujo al pasar desde una tubería de menor diámetro hacia una sección de mayor diámetro. En la zona central se observa una región de flujo laminar, caracterizada por trayectorias relativamente ordenadas y paralelas, mientras que cerca de la expansión aparecen regiones de turbulencia asociadas con la separación y recirculación del flujo. También se indican la velocidad de entrada v_1y el diámetro inicial D_1, elementos que permiten interpretar los cambios en la distribución del flujo.

Figura 1

Flujo laminar y turbulento



Nota. Adaptado de *Mecánica de fluidos* (7.ª ed., p. 228), por R. Mott y J. Untener, 2015, Pearson Educación.

En el caso específico del principio de Bernoulli, se han documentado dificultades para interpretar adecuadamente las relaciones existentes entre presión, velocidad y geometría del flujo. De igual forma, los inventarios conceptuales aplicados a Mecánica de Fluidos han permitido identificar ideas previas y errores de comprensión relacionados con continuidad, aceleración, presión y comportamiento del fluido, lo que evidencia la importancia de incorporar representaciones observables durante el aprendizaje (Martin et al., 2003; Miller et al., 2011; Suárez et al., 2021; Uyanik et al., 2025).

Entre los recursos experimentales utilizados para representar estos fenómenos se encuentran los túneles de viento, cuya construcción puede adaptarse a diferentes objetivos y escalas. Ismail et al. (2022) desarrollaron un túnel subsónico de circuito abierto y bajo costo para mediciones y caracterización aerodinámica, mientras que Grogger et al. (2022) demostraron la viabilidad de construir sistemas experimentales funcionales bajo restricciones presupuestarias cuando el diseño responde a propósitos específicos de observación y experimentación.

Sin embargo, la caracterización aerodinámica rigurosa requiere instrumentos que permitan cuantificar variables como velocidad, presión, uniformidad del flujo y turbulencia. En consecuencia, un prototipo destinado al ámbito educativo debe diferenciarse de los equipos diseñados para ensayos aerodinámicos de precisión. Desde esta perspectiva, su finalidad puede concentrarse en facilitar la visualización cualitativa del comportamiento del aire y favorecer la comprensión de fenómenos físicos mediante experiencias demostrativas controladas (Ismail et al., 2022; Grogger et al., 2022).

La manufactura aditiva constituye una alternativa para desarrollar este tipo de recursos, debido a que permite fabricar componentes y prototipos con geometrías específicas mediante procedimientos relativamente accesibles. Su incorporación en contextos educativos ha favorecido la creación de objetos tangibles, el desarrollo de actividades de diseño y la integración de conocimientos científicos, tecnológicos y prácticos dentro de procesos de enseñanza experimental (Schelly et al., 2015; Stern et al., 2019; Novak et al., 2021; De la Cruz-Campos et al., 2022).

El uso educativo de la impresión 3D también posibilita modificar, reproducir y adaptar componentes conforme a los requerimientos de cada experiencia de aprendizaje. Estudios recientes destacan que la combinación de actividades de diseño, fabricación y experimentación puede favorecer la participación estudiantil y la comprensión de procesos tecnológicos en la formación científica y de ingeniería (Thomas-Seale et al., 2023). En este contexto, los modelos abiertos y las herramientas de preparación para impresión amplían las posibilidades de construcción de prototipos educativos (Bambu Lab, 2026; Hofferth, 2025; Rodríguez-Galarza et al., 2026).

A partir de estas posibilidades, el prototipo planteado en esta investigación se orientó a la observación cualitativa del flujo de aire mediante humo o trazadores e iluminación dentro de una cámara de pruebas. Esta configuración permite visualizar patrones de flujo alrededor de distintos objetos, observar modificaciones en su trayectoria y analizar cualitativamente su interacción con diferentes geometrías, sin pretender sustituir los sistemas profesionales destinados a mediciones aerodinámicas de precisión.

Su alcance didáctico se concentra en apoyar la representación de conceptos relacionados con el principio de Bernoulli y las diferencias visuales entre determinados patrones de flujo asociados con comportamientos laminares y turbulentos. De esta manera, el dispositivo pretende complementar las explicaciones matemáticas y conceptuales mediante una experiencia observable que facilite la relación entre modelos teóricos y manifestaciones físicas del movimiento de los fluidos (Mott & Untener, 2015; Suárez et al., 2021).

El problema de investigación surge de la dificultad para representar y comprender fenómenos de la Mecánica de Fluidos con un elevado componente abstracto, especialmente cuando el proceso formativo se desarrolla predominantemente mediante ecuaciones y explicaciones teóricas. Las dificultades conceptuales documentadas en presión, velocidad, continuidad y comportamiento del flujo justifican la exploración de recursos que permitan complementar la enseñanza mediante experiencias prácticas y representaciones físicas observables (Martin et al., 2003; Miller et al., 2011; Vaidya, 2021).

En este sentido, la investigación tuvo como objetivo desarrollar un prototipo educativo de túnel de viento para apoyar la enseñanza de la Mecánica de Fluidos en la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales: Matemáticas y Física, y analizar la percepción estudiantil respecto a su diseño, funcionamiento, utilidad didáctica, aceptación y posible incorporación como recurso complementario en actividades prácticas. El estudio integra, por tanto, el desarrollo tecnológico del dispositivo con la valoración educativa realizada por sus potenciales usuarios.

2. Metodología

La investigación se estructuró en dos componentes complementarios. El primero correspondió a una fase de desarrollo tecnológico y propositivo, en la que se adaptó, fabricó y ensambló un prototipo educativo de túnel de viento. El segundo comprendió la evaluación de la percepción estudiantil mediante un enfoque cuantitativo, diseño no experimental, corte transversal y alcance descriptivo, aplicado después de la demostración y uso guiado del prototipo.

El componente tecnológico se orientó a la elaboración del recurso didáctico y a la adecuación de sus características para fines educativos. Por su parte, el componente descriptivo se concentró en caracterizar las valoraciones emitidas por los estudiantes respecto al diseño, funcionamiento, utilidad didáctica y aceptación del prototipo. Esta organización permitió diferenciar el proceso de construcción del dispositivo de la evaluación posterior de la percepción de sus potenciales usuarios.

El diseño base del túnel de viento se adaptó del modelo *Modular Wind Tunnel for STEM Education*, desarrollado por Jerrod Hofferth y publicado en MakerWorld (Hofferth, 2025). El modelo se encontraba disponible bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-SA, por lo que su utilización y adaptación se efectuaron respetando las condiciones establecidas de atribución, uso no comercial y distribución de las modificaciones bajo la misma licencia.

Los archivos correspondientes a las piezas fueron preparados para impresión 3D mediante Bambu Studio, versión 2.7 (Bambu Lab, 2026). Este software de laminado permitió transformar los modelos tridimensionales en capas y trayectorias de impresión compatibles con el equipo utilizado. Para la fabricación de los componentes se configuró una altura de capa aproximada de 0,2 mm, de acuerdo con las características geométricas y funcionales requeridas para el ensamblaje.

Las piezas del prototipo se fabricaron mediante una impresora 3D Bambu Lab A1 mini, basada en tecnología de modelado por deposición fundida (FDM). El equipo contaba con un volumen de impresión de 180 × 180 × 180 mm y una boquilla de 0,4 mm. Estas características permitieron fabricar los componentes diseñados y, posteriormente, integrar las piezas impresas con los demás elementos necesarios para conformar el túnel de viento educativo.

El procedimiento se desarrolló en cinco momentos secuenciales: 1) revisión bibliográfica y delimitación de los fenómenos de Mecánica de Fluidos susceptibles de observación cualitativa; 2) adaptación del diseño, impresión 3D y ensamblaje del prototipo; 3) socialización, demostración y uso

guiado con los estudiantes; 4) aplicación del cuestionario de percepción; y 5) procesamiento y análisis descriptivo de las respuestas obtenidas.

La fase bibliográfica se fundamentó en la revisión de textos y artículos relacionados con el principio de Bernoulli, los patrones de flujo laminar y turbulento, el empleo de laboratorios en educación y el desarrollo de recursos mediante manufactura aditiva. Esta revisión permitió establecer la fundamentación conceptual del prototipo y orientó la selección de los fenómenos que fueron representados cualitativamente durante las actividades desarrolladas en la cámara de pruebas.

La fase de campo se desarrolló en aulas y espacios de práctica utilizados por estudiantes de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales: Matemáticas y Física de la Universidad Nacional de Chimborazo, durante el período académico 2026-1S. La información se recopiló después de la socialización, demostración y uso guiado del prototipo, con el propósito de registrar la percepción de los participantes respecto a sus características y utilidad educativa.

La población de referencia estuvo constituida por 60 estudiantes (tabla 1) de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales: Matemáticas y Física que habían aprobado la asignatura de Mecánica de Fluidos. Se aplicó un muestreo no probabilístico por criterio, estableciéndose como requisito de inclusión haber aprobado dicha asignatura. La muestra efectiva estuvo integrada por 45 estudiantes de sexto, séptimo y octavo semestre que cumplieron el criterio establecido y aceptaron participar voluntariamente.

Tabla 1

Distribución de la muestra según semestre

Semestre	Número de estudiantes
Sexto	18
Séptimo	16
Octavo	11
Total	**45**

Nota. La muestra estuvo conformada por 45 estudiantes que habían aprobado la asignatura de Mecánica de Fluidos y que participaron voluntariamente en la socialización, demostración del prototipo y aplicación del cuestionario.

Para evaluar la percepción estudiantil se utilizó una encuesta estructurada mediante un cuestionario de 10 ítems con escala Likert de cinco categorías: 1 = Muy en desacuerdo, 2 = En desacuerdo, 3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo, 4 = De acuerdo y 5 = Muy de acuerdo. El instrumento se organizó en tres dimensiones relacionadas con el diseño y funcionamiento, la utilidad didáctica percibida y la aceptación del prototipo.

Antes de su aplicación, el cuestionario fue sometido al juicio de tres expertos, quienes valoraron la claridad, coherencia y pertinencia de los ítems en función de las dimensiones establecidas. Posteriormente, la consistencia interna del instrumento se estimó mediante el coeficiente alfa de Cronbach. Este estadístico fue utilizado como indicador de fiabilidad de las respuestas y no como evidencia de aceptación, efectividad o mejora del aprendizaje (Tavakol & Dennick, 2011; Taber, 2018).

El procesamiento de los datos se realizó mediante RStudio (Posit Team, 2026). Se calcularon frecuencias, porcentajes, medidas de tendencia central y medidas de dispersión para describir las

respuestas obtenidas en cada ítem y en las dimensiones evaluadas. Debido al alcance descriptivo, al diseño no experimental y al tipo de muestreo empleado, no se realizaron inferencias causales ni pruebas dirigidas a demostrar mejoras objetivas en el aprendizaje de los participantes.

La tabla 2 presenta la organización del instrumento utilizado para evaluar la percepción estudiantil sobre el prototipo educativo de túnel de viento. El cuestionario estuvo conformado por 10 ítems distribuidos en tres dimensiones: diseño y funcionamiento del prototipo, integrada por los ítems 1 al 3; utilidad didáctica percibida para el aprendizaje de Mecánica de Fluidos, correspondiente a los ítems 4 al 8; y aceptación y valoración de uso, conformada por los ítems 9 y 10. Esta estructura permitió valorar de manera diferenciada las características funcionales del recurso, su utilidad educativa percibida y la disposición de los estudiantes hacia su incorporación y recomendación en actividades prácticas.

Tabla 2

Dimensiones e ítems del instrumento de evaluación del prototipo educativo de túnel de viento

Dimensión	N.º	Ítem
Diseño y funcionamiento del prototipo	1	El prototipo educativo de túnel de viento presenta un diseño atractivo.
	2	El tamaño y la estructura del prototipo son adecuados para realizar las prácticas experimentales.
	3	El prototipo funcionó de manera adecuada y estable durante las actividades experimentales.
Utilidad didáctica percibida para el aprendizaje de Mecánica de Fluidos	4	El uso del prototipo facilitó mi comprensión del principio de Bernoulli.
	5	El prototipo me permitió diferenciar las características del flujo laminar y del flujo turbulento.
	6	El prototipo me permitió apreciar cualitativamente el comportamiento del flujo de aire alrededor del objeto ubicado en la cámara de pruebas.
	7	El prototipo me permitió observar y analizar con claridad el comportamiento del flujo de aire durante las prácticas experimentales.
	8	Considero que el prototipo apoyó mi aprendizaje de los contenidos abordados en la asignatura de Mecánica de Fluidos.
Aceptación y valoración de uso	9	Considero que el prototipo educativo debería incorporarse como recurso complementario en las prácticas de la asignatura de Mecánica de Fluidos.
	10	Recomendaría el uso del prototipo educativo a otros estudiantes como recurso de apoyo para el aprendizaje.

Nota. Los ítems fueron diseñados para evaluar la percepción estudiantil respecto al diseño y funcionamiento del prototipo, su utilidad didáctica percibida y su aceptación como recurso complementario para la enseñanza de Mecánica de Fluidos.

3. Resultados

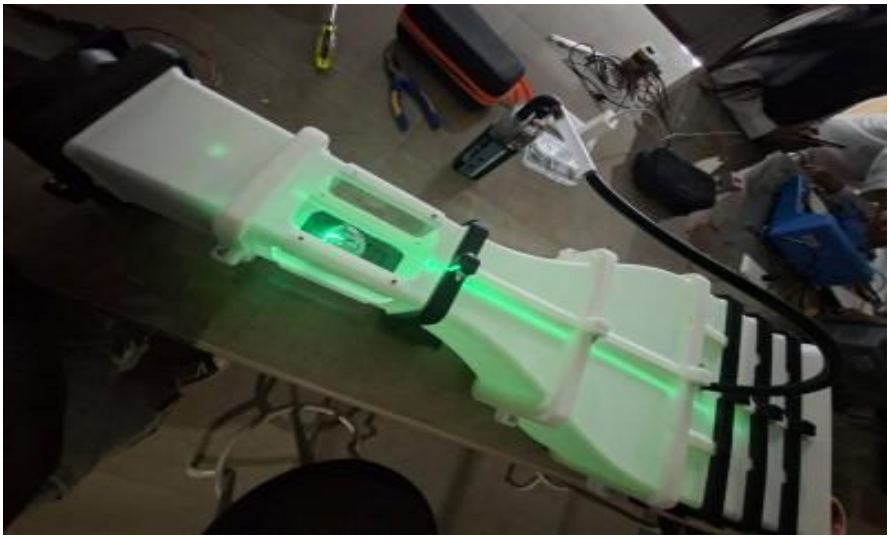
Durante las actividades desarrolladas con el prototipo educativo de túnel de viento fue posible visualizar cualitativamente el comportamiento del flujo de aire dentro de la cámara de pruebas y su interacción con diferentes objetos. Las observaciones permitieron apreciar modificaciones en la trayectoria del flujo alrededor de las geometrías utilizadas. Estos resultados correspondieron exclusivamente al funcionamiento demostrativo del dispositivo y no constituyeron una caracterización aerodinámica cuantitativa.

Las figuras 2 a 7 presentan la configuración general del prototipo, sus principales componentes y ejemplos de su funcionamiento durante las actividades realizadas con los estudiantes. Mediante el empleo de trazadores e iluminación en la cámara de pruebas se visualizaron patrones del flujo de aire alrededor de los objetos ensayados. Esta configuración permitió comprobar la funcionalidad del recurso para las actividades de observación cualitativa previstas en su diseño.

La figura 2 muestra el prototipo educativo de túnel de viento completamente ensamblado. Se observa la estructura fabricada en material plástico, la cámara de pruebas ubicada en la sección central y el sistema de iluminación de color verde utilizado para favorecer la visualización del flujo de aire durante las actividades experimentales.

Figura 2

Vista general del prototipo educativo de túnel de viento



La figura 3 muestra el prototipo de túnel de viento junto con los principales elementos utilizados para su funcionamiento y ensamblaje. Se observa la estructura modular impresa en 3D, la cámara de pruebas, los conductos de entrada y salida, el sistema de ventilación, los elementos de iluminación y diversos componentes eléctricos y accesorios empleados durante la construcción y puesta en funcionamiento del dispositivo.

La figura 4 muestra una actividad práctica en la que los estudiantes observan el funcionamiento del prototipo educativo de túnel de viento. En la cámara de pruebas se aprecia la iluminación utilizada para facilitar la visualización del flujo de aire, mientras los participantes interactúan con el dispositivo y observan su comportamiento durante la demostración experimental.

Figura 3

Componentes principales del prototipo educativo de túnel de viento



Figura 4

Funcionamiento del prototipo durante una actividad demostrativa



Nota. La imagen presenta una actividad en la que los estudiantes interactuaron con el túnel de viento. La iluminación de la cámara de pruebas favoreció la visualización colectiva de los patrones del flujo de aire.

La figura 5 muestra la cámara de pruebas del prototipo durante su funcionamiento. Mediante la iluminación verde se observan trazadores dispuestos de forma aproximadamente paralela, lo que permite visualizar cualitativamente la trayectoria y distribución del flujo de aire en el interior del túnel.

Figura 5

Visualización del flujo de aire en la cámara de pruebas

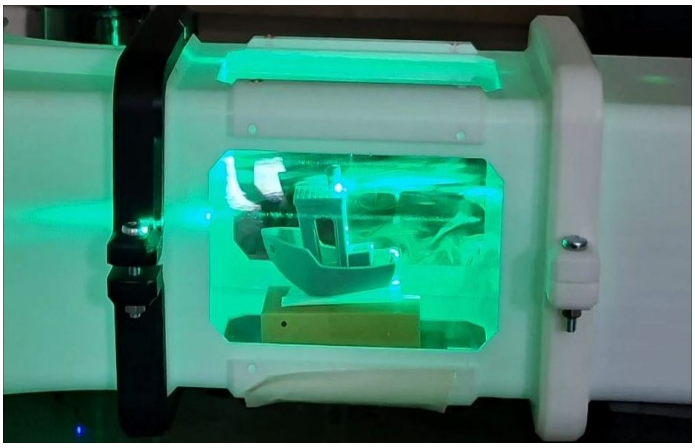


Nota. La imagen muestra los trazadores visibles dentro de la cámara de pruebas, mediante los cuales se observó cualitativamente la trayectoria seguida por el flujo de aire.

La figura 6 muestra el comportamiento cualitativo del flujo de aire alrededor de un modelo con forma de barco ubicado en la cámara de pruebas. Los trazadores visibles permiten observar cambios en la trayectoria del flujo al interactuar con la geometría del objeto, así como zonas de desviación y recirculación en su entorno.

Figura 6

Visualización del flujo de aire alrededor del primer objeto de prueba: barco



Nota. La imagen muestra el comportamiento cualitativo del flujo de aire alrededor del objeto con forma de barco y las modificaciones de su trayectoria asociadas con la geometría del modelo.

La figura 7 muestra el comportamiento cualitativo del flujo de aire alrededor de un modelo con forma de cohete ubicado en la cámara de pruebas. Los trazadores permiten observar la desviación de las trayectorias al interactuar con la geometría del objeto y la formación de perturbaciones y zonas de recirculación en la región posterior del modelo.

Figura 7

Visualización del flujo de aire alrededor del segundo objeto de prueba: cohete



Nota. La imagen muestra el comportamiento cualitativo del flujo de aire alrededor del objeto con forma de cohete y la adaptación de su trayectoria a la geometría del modelo.

La consistencia interna del cuestionario se estimó a partir de las respuestas de los 45 participantes. El instrumento, compuesto por 10 ítems (tabla 3), alcanzó un coeficiente alfa de Cronbach de 0,949, lo que evidenció una elevada consistencia interna entre los elementos evaluados. Este resultado respaldó la fiabilidad del instrumento empleado, sin constituir una medida de aceptación, efectividad pedagógica o validación técnica del prototipo.

Tabla 3

Consistencia interna del instrumento de evaluación

Instrumento	Participantes	Ítems	Alfa de Cronbach
Cuestionario	45	10	0,949

Nota. Elaboración propia a partir de las respuestas obtenidas mediante la aplicación del instrumento.

Los estadísticos descriptivos mostraron valoraciones predominantemente favorables en los 10 ítems evaluados. Las medias se situaron entre 4,33 y 4,56 puntos sobre una escala máxima de 5 (tabla 4), mientras que las medianas se ubicaron entre 4 y 5. Estos resultados evidenciaron una concentración de las respuestas en las categorías superiores de la escala y una valoración positiva de las características evaluadas del prototipo.

Tabla 4

Estadísticos descriptivos por ítem

Ítem	Media	Mediana	Moda	Varianza	DE	Mín.	Máx.
I1	4,56	5,0	5	0,434	0,659	3,0	5
I2	4,33	4,0	5	0,545	0,739	3,0	5
I3	4,44	5,0	5	0,389	0,624	3,0	5
I4	4,42	4,0	5	0,386	0,621	3,0	5
I5	4,40	5,0	5	0,427	0,654	3,0	5
I6	4,51	4,0	5	0,346	0,589	3,0	5
I7	4,33	4,0	4	0,500	0,707	2,0	5
I8	4,36	5,0	5	0,553	0,743	2,0	5
I9	4,40	5,0	5	0,655	0,809	1,0	5
I10	4,47	5,0	5	0,709	0,842	1,0	5

Nota. DE = desviación estándar. Elaboración propia a partir de los datos procesados en RStudio.

En la dimensión correspondiente al diseño y funcionamiento, las valoraciones fueron favorables para los tres aspectos evaluados. El diseño del prototipo alcanzó una media de 4,56; la adecuación del tamaño y la estructura obtuvo 4,33; y el funcionamiento durante las actividades registró 4,44. En conjunto, estos resultados mostraron una percepción positiva de las características físicas y funcionales del dispositivo educativo (tabla 5).

En relación con la utilidad didáctica percibida, las medias de los ítems I4 a I8 oscilaron entre 4,33 y 4,51 puntos. La valoración más alta correspondió al ítem relacionado con la apreciación cualitativa del comportamiento del flujo de aire alrededor del objeto colocado en la cámara de pruebas. Estos resultados indicaron que los participantes percibieron favorablemente el prototipo como recurso de apoyo para representar y observar contenidos de Mecánica de Fluidos.

La dimensión relacionada con la aceptación y valoración de uso también presentó resultados favorables. El ítem referido a la posible incorporación del prototipo como recurso complementario alcanzó una media de 4,40, mientras que la disposición a recomendar su utilización a otros estudiantes registró una media de 4,47. Estos datos reflejaron una percepción positiva respecto a la posible continuidad de su uso dentro de las actividades prácticas de la asignatura.

La dispersión de las respuestas fue baja a moderada en la mayoría de los ítems evaluados. La menor desviación estándar correspondió al ítem I6 (DE = 0,589), mientras que la mayor se observó en I10 (DE = 0,842). Aunque las respuestas se concentraron predominantemente en las categorías superiores de la escala, la presencia de valores mínimos de 1 y 2 en algunos ítems evidenció cierta variabilidad entre las percepciones individuales.

Tabla 5

Distribución de frecuencias y porcentajes por ítem

Ítem	1 n (%)	2 n (%)	3 n (%)	4 n (%)	5 n (%)
I1	0 (0 %)	0 (0 %)	4 (8,9 %)	12 (26,7 %)	29 (64,4 %)
I2	0 (0 %)	0 (0 %)	7 (15,6 %)	16 (35,6 %)	22 (48,9 %)
I3	0 (0 %)	0 (0 %)	3 (6,7 %)	19 (42,2 %)	23 (51,1 %)
I4	0 (0 %)	0 (0 %)	3 (6,7 %)	20 (44,4 %)	22 (48,9 %)
I5	0 (0 %)	0 (0 %)	4 (8,9 %)	19 (42,2 %)	22 (48,9 %)
I6	0 (0 %)	0 (0 %)	2 (4,4 %)	18 (40,0 %)	25 (55,6 %)
I7	0 (0 %)	1 (2,2 %)	3 (6,7 %)	21 (46,7 %)	20 (44,4 %)
I8	0 (0 %)	1 (2,2 %)	4 (8,9 %)	18 (40,0 %)	22 (48,9 %)
I9	1 (2,2 %)	0 (0 %)	3 (6,7 %)	17 (37,8 %)	24 (53,3 %)
I10	1 (2,2 %)	1 (2,2 %)	1 (2,2 %)	15 (33,3 %)	27 (60,0 %)

Nota. Los valores se presentan como frecuencia absoluta y porcentaje sobre n = 45. Las categorías correspondieron a: 1 = Muy en desacuerdo; 2 = En desacuerdo; 3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo; 4 = De acuerdo; y 5 = Muy de acuerdo.

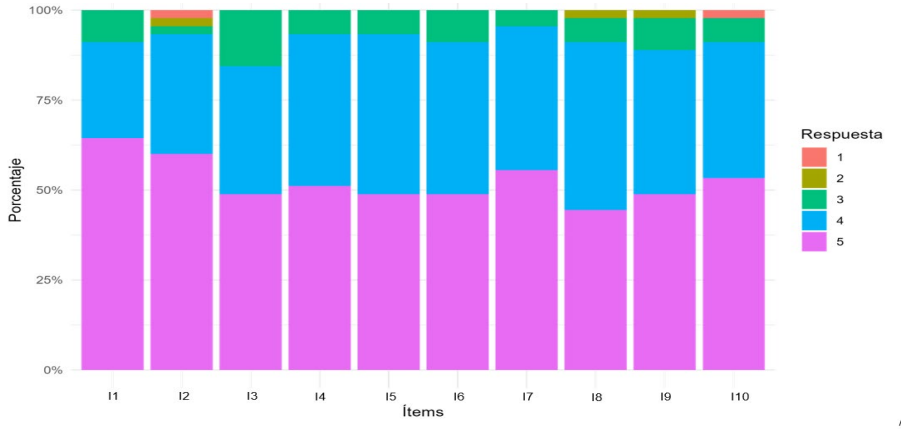
La distribución de frecuencias confirmó la concentración de respuestas en las categorías 4 y 5. El mayor porcentaje combinado de respuestas favorables correspondió al ítem I6, con 95,6 %, seguido de I3, I4 e I10, con 93,3 % cada uno. Los ítems I1, I5, I7 e I9 alcanzaron 91,1 %, mientras que I8 obtuvo 88,9 % e I2 registró 84,5 % de respuestas favorables.

Estos porcentajes evidenciaron una valoración favorable del prototipo en las dimensiones de diseño y funcionamiento, utilidad didáctica percibida y aceptación. No obstante, debido al carácter perceptual del instrumento y al diseño descriptivo de la investigación, los resultados expresaron las valoraciones de los participantes después de utilizar el recurso y no demostraron objetivamente una mejora en el aprendizaje de Mecánica de Fluidos.

La figura 8 muestra la distribución porcentual de las respuestas obtenidas en los 10 ítems del cuestionario. Se observa una clara concentración en las categorías 4 (*De acuerdo*) y 5 (*Muy de acuerdo*), mientras que las categorías 1 y 2 presentan una frecuencia reducida o nula en la mayoría de los ítems. Este patrón evidencia una percepción predominantemente favorable de los estudiantes respecto a las dimensiones evaluadas del prototipo educativo.

Figura 8

Distribución proporcional de las respuestas Likert por ítem (n = 45)

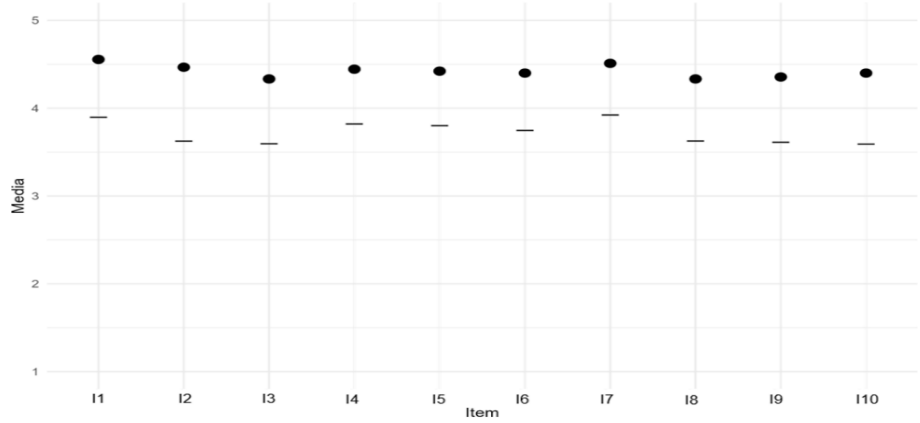


Nota. Elaboración propia a partir de las respuestas obtenidas mediante el cuestionario.

La figura 9 presenta las medias obtenidas en los 10 ítems del cuestionario y su dispersión asociada. Las puntuaciones medias se mantuvieron por encima de 4 puntos en todos los ítems, con valores comprendidos entre 4,33 y 4,56, lo que refleja una valoración predominantemente favorable del prototipo. La variabilidad observada fue moderada y no modificó la tendencia general de las respuestas hacia los niveles superiores de la escala Likert.

Figura 9

Desviación estándar de las respuestas por ítem (n = 45)



Nota. Elaboración propia a partir de los datos procesados.

El puntaje global obtenido a partir de los 10 ítems presentó una media de 4,42 puntos y una desviación estándar de 0,582. La mediana fue de 4,5 y la moda correspondió al valor máximo de 5, mientras que los valores observados oscilaron entre 2,8 y 5,0. En conjunto, estos estadísticos mostraron que la valoración general de los participantes se concentró en la parte superior de la escala utilizada (tabla 6).

Tabla 6

Estadísticos descriptivos del puntaje global

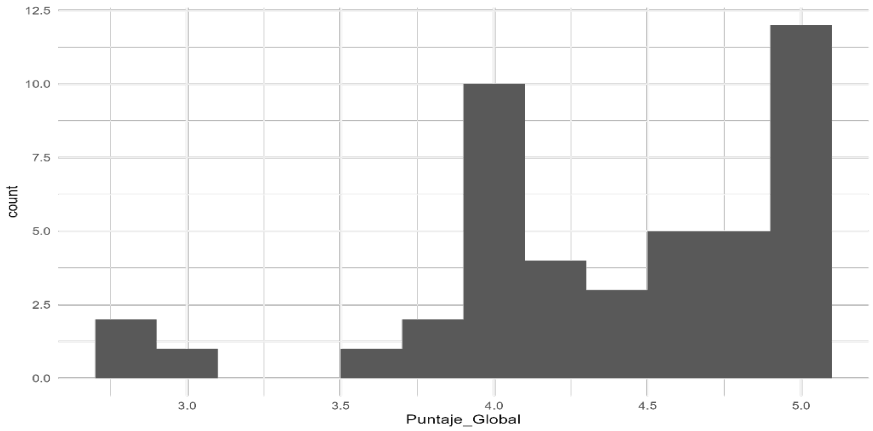
n	Media	Mediana	Moda	Varianza	DE	Mín.	Máx.
45	4,42	4,5	5	0,339	0,582	2,8	5,0

Nota. DE = desviación estándar. Elaboración propia a partir de los resultados procesados en RStudio.

La figura 10 muestra la distribución de los puntajes globales obtenidos a partir de los 10 ítems del cuestionario. Se observa una mayor concentración de valores en el intervalo superior de la escala, particularmente entre aproximadamente 4,0 y 5,0 puntos, lo que evidencia una valoración general favorable del prototipo educativo por parte de los participantes. La distribución también muestra una menor frecuencia de puntuaciones ubicadas en los niveles inferiores.

Figura 10

Distribución del puntaje global del instrumento



Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

En síntesis, los resultados mostraron que el prototipo cumplió la función demostrativa prevista para la observación cualitativa del flujo y recibió valoraciones predominantemente favorables por parte de los estudiantes. Las respuestas fueron positivas respecto al diseño y funcionamiento, la utilidad didáctica percibida y su posible incorporación en actividades prácticas. Estos hallazgos respondieron al componente perceptual del objetivo, sin atribuir al dispositivo efectos causales sobre el aprendizaje ni validez aerodinámica.

4. Discusión

Los 45 participantes expresaron una percepción favorable sobre el prototipo educativo de túnel de viento, con puntuaciones medias superiores a 4 puntos en todos los ítems evaluados. Las valoraciones destacaron especialmente la visualización cualitativa del flujo, la diferenciación percibida entre patrones de flujo y el apoyo a la comprensión del principio de Bernoulli. Estos resultados adquieren relevancia frente a las dificultades conceptuales documentadas en Mecánica de Fluidos por Martin et al. (2003), Miller et al. (2011), Suárez et al. (2021) y Uyanik et al. (2025).

En particular, Suárez et al. (2021) identificaron concepciones alternativas relacionadas con la interpretación de la presión, la velocidad y la geometría del flujo, mientras que los inventarios conceptuales han evidenciado dificultades persistentes en estos contenidos (Martin et al., 2003; Miller

et al., 2011; Uyanik et al., 2025). En este contexto, la valoración favorable del prototipo sugiere que la representación visual de estos fenómenos fue percibida por los estudiantes como un complemento útil de las explicaciones teóricas. Sin embargo, al no haberse aplicado una prueba pretest-postest, no fue posible demostrar una mejora objetiva del aprendizaje.

La construcción del dispositivo también mostró la posibilidad de desarrollar un recurso experimental mediante componentes impresos en 3D y elementos accesibles. Este resultado coincide con Ismail et al. (2022), quienes desarrollaron un túnel de viento subsónico de bajo costo, y con Grogger et al. (2022), quienes demostraron la viabilidad de construir dispositivos experimentales bajo restricciones presupuestarias. A diferencia de esos trabajos, la presente investigación priorizó la finalidad didáctica y la observación cualitativa, sin incorporar procedimientos de caracterización aerodinámica instrumental.

Esta diferencia resulta metodológicamente importante, debido a que la funcionalidad educativa del prototipo no debe confundirse con una validación técnica para investigación aerodinámica. El dispositivo permitió observar patrones del flujo y su interacción con diferentes geometrías, pero no se determinaron experimentalmente variables como velocidad, presión, número de Reynolds, uniformidad del flujo o intensidad de turbulencia. Por ello, sus resultados deben interpretarse dentro de su finalidad demostrativa y como recurso complementario para actividades prácticas de Mecánica de Fluidos (Ismail et al., 2022; Grogger et al., 2022).

La manufactura aditiva constituyó un elemento relevante para materializar y adaptar el diseño del prototipo a las necesidades de la experiencia educativa. Diversos estudios señalan que la impresión 3D facilita la elaboración de objetos tangibles, la experimentación y la integración de actividades de diseño y fabricación en contextos formativos (Schelly et al., 2015; Stern et al., 2019; Novak et al., 2021; De la Cruz-Campos et al., 2022; Thomas-Seale et al., 2023). En este estudio, su principal aporte consistió en posibilitar la fabricación de componentes específicos y favorecer la configuración modular del recurso.

Desde la perspectiva educativa, los hallazgos fueron coherentes con la importancia atribuida a las experiencias de laboratorio para relacionar conceptos abstractos con fenómenos observables. Feisel y Rosa (2005), Ma y Nickerson (2006), Brinson (2015) y Nikolic et al. (2024) destacan que los entornos experimentales pueden favorecer la integración de conocimientos conceptuales y prácticos. De manera complementaria, la elevada concentración de respuestas en las categorías “De acuerdo” y “Muy de acuerdo” indicó una aceptación favorable del prototipo como recurso de apoyo para las actividades de la asignatura.

Esta valoración también puede analizarse desde los principios del aprendizaje activo, que promueven una participación más directa del estudiante en la exploración e interpretación de fenómenos. Prince (2004) y Freeman et al. (2014) documentaron resultados favorables de estas estrategias en disciplinas STEM. No obstante, los hallazgos del presente estudio no permiten atribuir al prototipo los efectos de aprendizaje señalados en esos antecedentes; únicamente muestran que los participantes valoraron positivamente una experiencia que incorporó observación, interacción y exploración del flujo de aire.

La aceptación del recurso se sustentó en las medias, frecuencias y porcentajes obtenidos en los ítems correspondientes, mientras que el coeficiente alfa de Cronbach de 0,949 se interpretó exclusivamente como evidencia de consistencia interna del cuestionario. Este valor indicó una elevada coherencia entre los ítems del instrumento, pero no constituyó evidencia de efectividad pedagógica, satisfacción estudiantil ni validez técnica del túnel de viento. Esta interpretación resulta concordante con las recomendaciones metodológicas de Tavakol y Dennick (2011) y Taber (2018).

Entre las principales limitaciones se encontraron el muestreo no probabilístico y la participación voluntaria, factores que restringen la generalización de los resultados. También se identificó la ausencia de una medición objetiva del aprendizaje, de un grupo de comparación y de pruebas instrumentales destinadas a caracterizar el comportamiento aerodinámico del prototipo. Además, no se evaluaron su utilización prolongada, mantenimiento ni costos comparativos, por lo que los hallazgos deben entenderse como evidencia descriptiva de percepción estudiantil y funcionamiento cualitativo.

En conjunto, la discusión permite sostener que el principal aporte del estudio no radicó en demostrar una mejora del rendimiento académico ni en validar técnicamente un túnel de viento, sino en desarrollar un recurso educativo funcional y documentar una percepción estudiantil favorable sobre su utilización. Estos resultados justifican continuar su evaluación mediante estudios posteriores que incorporen diseños pretest-postest, grupos de comparación, mediciones aerodinámicas y experiencias de uso durante períodos académicos más prolongados.

5. Conclusiones

La delimitación conceptual permitió seleccionar contenidos de Mecánica de Fluidos susceptibles de representación cualitativa mediante el prototipo educativo, entre ellos el principio de Bernoulli, los patrones de flujo asociados con comportamientos laminares y turbulentos y la trayectoria del flujo de aire alrededor de diferentes geometrías. Esta selección orientó el desarrollo del recurso hacia fenómenos cuya comprensión puede resultar compleja cuando se abordan principalmente mediante formulaciones teóricas y matemáticas.

En relación con el desarrollo tecnológico, se obtuvo un prototipo educativo de túnel de viento funcional para las actividades demostrativas previstas, cuyos componentes fueron fabricados principalmente mediante impresión 3D. El dispositivo permitió visualizar cualitativamente el flujo de aire y sus modificaciones al interactuar con diferentes objetos dentro de la cámara de pruebas. Estos resultados respaldan su utilización como recurso complementario para actividades prácticas, dentro de los límites establecidos por su diseño y finalidad educativa.

Respecto a la percepción estudiantil, los 45 participantes presentaron una valoración global favorable, con una media de 4,42 sobre 5 (DE = 0,582), una mediana de 4,5 y una moda de 5. Las respuestas mostraron valoraciones positivas respecto al diseño y funcionamiento, la utilidad didáctica percibida y la posible incorporación del prototipo en las prácticas de Mecánica de Fluidos. Estos resultados representan la percepción de los participantes y no constituyen evidencia de una mejora objetiva del aprendizaje ni de la efectividad pedagógica del recurso.

En síntesis, el estudio permitió desarrollar un prototipo educativo funcional y documentar una percepción estudiantil favorable sobre su uso como apoyo para la enseñanza de la Mecánica de Fluidos. Su principal aporte consistió en proporcionar una representación visual y tangible de fenómenos que suelen abordarse de manera abstracta. Futuras investigaciones deberían evaluar su efecto mediante diseños pretest-postest o grupos de comparación, incorporar mediciones aerodinámicas objetivas y analizar su costo, mantenimiento y funcionamiento durante períodos académicos prolongados.

Los cambios más importantes fueron centrar la conclusión directamente en el objetivo general, diferenciar con claridad funcionamiento del prototipo, percepción estudiantil y aprendizaje efectivo, eliminar afirmaciones que podían sugerir una validación aerodinámica inexistente y reducir la repetición de elementos metodológicos. Con ello, la conclusión queda más interpretativa y propia del cierre de un artículo científico.

Referencias

Bambu Lab. (2026). *Bambu Studio* (Versión 2.7) [Software]. https://bambulab.com/en/download/studio

Brinson, J. (2015). Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Computers & Education, 87*, 218–237. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.07.003

De la Cruz-Campos, J., Campos-Soto, M., Rodríguez-Jiménez, C., & Ramos Navas-Parejo, M. (2022). Impresión 3D en educación. Perspectiva teórica y experiencias en el aula. *Revista CENTRA de Ciencias Sociales, 1*(1), 67–80. https://doi.org/10.54790/rccs.16

Feisel, L., & Rosa, A. (2005). The role of the laboratory in undergraduate engineering education. *Journal of Engineering Education, 94*(1), 121–130. https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00833.x

Freeman, S., Eddy, S., McDonough, M., Smith, M., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 111*(23), 8410–8415. https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111

Grogger, H., Gossar, M., Makovec, M., Fritz, J., Neugebauer, K., Amann, F., & Voelkl, B. (2022). A low-cost wind tunnel for bird flight experiments. *Journal of Ornithology, 163*(2), 599–610. https://doi.org/10.1007/s10336-021-01945-2

Hofferth, J. (2025). *Modular wind tunnel for STEM education* [Modelo 3D]. MakerWorld. https://n9.cl/svm4ds

Ismail, Pane, E., & Rahman, R. (2022). An open design for a low-cost open-loop subsonic wind tunnel for aerodynamic measurement and characterization. *HardwareX, 12*, Article e00352. https://doi.org/10.1016/j.ohx.2022.e00352

Ma, J., & Nickerson, J. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. *ACM Computing Surveys, 38*(3), Article 7. https://doi.org/10.1145/1132960.1132961

Martin, J., Mitchell, J., & Newell, T. (2003). Development of a concept inventory for fluid mechanics. In *33rd Annual Frontiers in Education Conference* (Vol. 1, pp. T3D-23–T3D-28). IEEE. https://doi.org/10.1109/FIE.2003.1263340

Miller, R., Streveler, R., Yang, D., & Santiago Román, A. (2011). Identifying and repairing student misconceptions in thermal and transport science: Concept inventories and schema training studies. *Chemical Engineering Education, 45*(3), 203–210. https://n9.cl/5qe27o

Mott, R., & Untener, J. (2015). *Mecánica de fluidos* (7.ª ed.). Pearson Educación. https://n9.cl/knnm3

Nikolic, S., Suesse, T., Grundy, S., Haque, R., Lyden, S., Hassan, G., Daniel, S., Belkina, M., & Lal, S. (2024). Laboratory learning objectives: Ranking objectives across the cognitive, psychomotor and affective domains within engineering. *European Journal of Engineering Education, 49*(3), 454–473. https://doi.org/10.1080/03043797.2023.2248042

Novak, E., Brannon, M., Librea-Carden, M., & Haas, A. (2021). A systematic review of empirical research on learning with 3D printing technology. *Journal of Computer Assisted Learning, 37*(5), 1455–1478. https://doi.org/10.1111/jcal.12585

Posit Team. (2026). *RStudio: Integrated Development Environment for R* [Software]. Posit Software, PBC. https://posit.co/products/open-source/rstudio

Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education, 93*(3), 223–231. https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x

Rodríguez-Galarza, G., Jinez-Tapia, J., Torres-Rodriguez, K., & Rentería-Bustamante, L. (2026). Implementación de un tablero ocupacional digital para mejorar las actividades de la vida diaria en discapacidad intelectual. *Revista Digital Científica Causalidad (caui3), 2*(1), 10–22. https://doi.org/10.70929/caui3.v2i1.0018

Schelly, C., Anzalone, G., Wijnen, B., & Pearce, J. M. (2015). Open-source 3-D printing technologies for education: Bringing additive manufacturing to the classroom. *Journal of Visual Languages & Computing, 28*, 226–237. https://doi.org/10.1016/j.jvlc.2015.01.004

Stern, A., Rosenthal, Y., Dresler, N., & Ashkenazi, D. (2019). Additive manufacturing: An education strategy for engineering students. *Additive Manufacturing, 27*, 503–514. https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.04.001

Suárez, Á., Dutra, M., Monteiro, M., & Martí, A. (2021). El embrollo de Bernoulli: Una investigación sobre las concepciones alternativas de los estudiantes en dinámica de fluidos. *Modelling in Science Education and Learning, 14*(2), 17–30. https://doi.org/10.4995/msel.2021.14835

Taber, K. (2018). The use of Cronbach's alpha when developing and reporting research instruments in science education. *Research in Science Education, 48*(6), 1273–1296. https://doi.org/10.1007/s11165-016-9602-2

Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International Journal of Medical Education, 2*, 53–55. https://doi.org/10.5116/ijme.4dfb.8dfd

Thomas-Seale, L., Kanagalingam, S., Kirkman-Brown, J., Attallah, M., Espino, D., & Shepherd, D. (2023). Teaching design for additive manufacturing: Efficacy of and engagement with lecture and laboratory approaches. *International Journal of Technology and Design Education, 33*(2), 585–622. https://doi.org/10.1007/s10798-022-09741-6

Uyanik, O., Kaw, A., & Guldiken, R. (2025, 22–25 de junio). *An evaluation of student responses to a Fluid Mechanics Concept Inventory* [Ponencia]. 2025 ASEE Annual Conference & Exposition, Montreal, Quebec, Canada. https://doi.org/10.18260/1-2--57609

Vaidya, A. (2021). Contributions to the teaching and learning of fluid mechanics. *Fluids, 6*(8), Article 269. https://doi.org/10.3390/fluids6080269

Transparencia

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés de naturaleza alguna como parte de la presente investigación.

Fuente de financiamiento

Los autores financiaron completamente la investigación.

Contribución de autoría

Patrick Alexander Paredes Romero: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos.

Klever David Cajamarca-Sacta: Conceptualización, metodología, validación, investigación, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

Los autores contribuyeron activamente en el análisis de los resultados, revisión y aprobación del manuscrito final.