



ID de Artículo: SEC-Vol.3.N.1.003.2025

Tipo de artículo: Artículo de Revisión Bibliográfica

## Una revisión de los avances recientes en mecánica de fluidos y sus aplicaciones

### A review of recent advances in fluid mechanics and their applications

Autores:

Milene Paulette Marca Laime<sup>1</sup>, Samantha Lizbeth Matamoros Chuchuca<sup>2</sup>, Nixon Joel Rogel Merchan<sup>3</sup>, León Cueva Wilson Patricio<sup>4</sup>, Delly Maribel San Martin Torres<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, [mmarca2@utmachala.edu.ec](mailto:mmarca2@utmachala.edu.ec), <https://orcid.org/0009-0005-1256-3454>

<sup>2</sup>Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, [smatamoro3@utmachala.edu.ec](mailto:smatamoro3@utmachala.edu.ec), <https://orcid.org/0009-0005-2298-0411>

<sup>3</sup>Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, [nrogel3@utmachala.edu.ec](mailto:nrogel3@utmachala.edu.ec), <https://orcid.org/0009-0006-1596-4277>

<sup>4</sup>Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, [wleon@utmachala.edu.ec](mailto:wleon@utmachala.edu.ec), <https://orcid.org/0000-0002-5474-430X>

<sup>5</sup>Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, [dsanmartin@utmachala.edu.ec](mailto:dsanmartin@utmachala.edu.ec), <https://orcid.org/0000-0002-4680-4042>

**Fechas de recepción:** 01-Mayo-2025 **Aceptación:** 14-Mayo-2025 **Publicación:** 20-Mayo-2025

#### How to cite this article:

Marca Laime, M. P., Matamoros Chuchuca, S. L., Rogel Merchan, N. J., Wilson Patricio, L. C., & San Martin Torres, D. M. (2025). Una revisión de los avances recientes en mecánica de fluidos y sus aplicaciones. *Sapiens Evolucion Científica*, 3(1), e-31003. <https://sapiensjournal.org/index.php/sec/article/view/40>



## Resumen

La mecánica de fluidos, disciplina esencial en ingeniería y ciencias físicas, estudia el comportamiento de líquidos y gases en reposo y movimiento. Este trabajo realiza una revisión sistemática de los avances más significativos en el campo (2020-2025), con el objetivo de sintetizar las contribuciones recientes y tendencias emergentes. La metodología se basó en el análisis crítico de artículos científicos indexados en Scopus, ScienceDirect, PubMed y Scielo, priorizando investigaciones sobre modelado numérico, aplicaciones innovadoras y desarrollo teórico. Los resultados destacan el rol pivotal de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) en la simulación de fenómenos complejos, como turbulencia, flujos no newtonianos e interacciones multifásicas, así como su integración con técnicas de aprendizaje automático para optimizar predicciones. Entre las aplicaciones más relevantes figuran avances en ingeniería biomédica (flujos sanguíneos, dispositivos médicos), energía sostenible (nanofluidos para eficiencia térmica), gestión ambiental (modelado de contaminantes) y procesos industriales (optimización de sistemas de flujo). Además, se identificó el crecimiento de enfoques multidisciplinarios que combinan mecánica de fluidos con ciencia de materiales e inteligencia artificial. El estudio concluye que el campo mantiene un dinamismo notable, impulsado por la demanda de soluciones a desafíos globales en sectores como salud, energía y medioambiente. Esta revisión refuerza la relevancia de la mecánica de fluidos como área transversal y su potencial para seguir transformando tecnologías críticas en las próximas décadas.

**Palabras clave:** Mecánica de Fluidos; Dinámica de Fluidos Computacional (CFD); Flujos Multifásicos; Nanofluidos

## Abstract

Fluid mechanics, an essential discipline in engineering and physical sciences, studies the behavior of liquids and gases at rest and in motion. This paper performs a systematic review of the most significant advances in the field (2020-2025), with the aim of synthesizing recent contributions and emerging trends. The methodology was based on the critical analysis of scientific articles indexed in Scopus, ScienceDirect, PubMed and Scielo, prioritizing research on numerical modeling, innovative applications and theoretical development. The results highlight the pivotal role of Computational Fluid Dynamics (CFD) in the simulation of complex phenomena, such as turbulence, non-Newtonian flows and multiphase interactions, as well as its integration with machine learning techniques to optimize predictions. Among the most relevant applications are advances in biomedical engineering (blood flows, medical devices), sustainable energy (nanofluids for thermal efficiency), environmental management (modeling of pollutants) and industrial processes (optimization of flow systems). In addition, the growth of multidisciplinary approaches combining fluid mechanics with materials science and artificial intelligence was identified. The study concludes that the field maintains a remarkable dynamism, driven by the demand for solutions to global challenges in sectors such as health,



energy and environment. This review reinforces the relevance of fluid mechanics as a cross-cutting area and its potential to continue transforming critical technologies in the coming decades.

**Keywords:** Fluid Mechanics; Computational Fluid Dynamics (CFD); Multiphase Flows; Nanofluids

## 1. INTRODUCCIÓN

El estudio del comportamiento de sustancias líquidas, gaseosas y plasmáticas constituye el núcleo de la mecánica de fluidos, un campo interdisciplinario que combina principios físicos con aplicaciones ingenieriles. Esta disciplina examina cómo interactúan estas sustancias con diversas fuerzas, siendo fundamental para comprender desde procesos fisiológicos como la circulación sanguínea hasta desarrollos tecnológicos en aerodinámica y gestión ambiental (Cengel & Cimbala, 2010.). Esta disciplina se basa en leyes fundamentales de conservación: la conservación de la masa, la conservación del momento (leyes de Newton aplicadas a fluidos, que conducen a las ecuaciones de Navier-Stokes) y la conservación de la energía (primera ley de la termodinámica) (Munson et al., 2013). Conceptos clave como presión, viscosidad, densidad, y regímenes de flujo (laminar y turbulento) son esenciales para caracterizar el comportamiento de los fluidos (Kundu et al., 2024).

Históricamente, el estudio de la mecánica de fluidos ha progresado a través de la teoría analítica y la experimentación. Sin embargo, la complejidad inherente de las ecuaciones gobernantes, especialmente las ecuaciones de Navier-Stokes no lineales, limita las soluciones analíticas a casos relativamente simples. La experimentación, aunque crucial para la validación y el descubrimiento, puede ser costosa, consumir tiempo y, en algunos casos, impracticable. En las últimas décadas, ha surgido un tercer pilar fundamental: la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). La CFD utiliza métodos numéricos y algoritmos computacionales para resolver las ecuaciones de flujo de fluidos, permitiendo la simulación detallada de flujos complejos en geometrías intrincadas (Anderson, 1995). Técnicas como el método de volúmenes finitos se han vuelto estándar para discretizar el dominio del flujo y aproximar las soluciones (Moukalled et al., 2016; Versteeg & Malalasekera, 2007). La CFD ha revolucionado el diseño y análisis en ingeniería aeroespacial, automotriz, civil, química y biomédica, permitiendo optimizar diseños, predecir rendimientos y comprender fenómenos físicos con un detalle sin precedentes (Paris et al., 2023; Shaheed et al., 2022) (Aplicación de CFD al diseño de la bomba centrífuga, 2021).

Uno de los mayores desafíos persistentes en mecánica de fluidos es la comprensión y modelado del flujo turbulento. La turbulencia se caracteriza por fluctuaciones caóticas y altamente no lineales en la velocidad y la presión, y domina la mayoría de los flujos de interés ingenieril y ambiental (Pope, 2000). La simulación directa de todas las escalas turbulentas (DNS) es computacionalmente prohibitiva para la mayoría de las aplicaciones prácticas. Por lo tanto, se recurre a modelos de turbulencia, como los modelos basados en el Promediado de Reynolds de las Ecuaciones de Navier-Stokes (RANS) y la Simulación de Grandes Escalas



(LES), que buscan capturar los efectos de la turbulencia en el flujo medio o en las escalas más grandes, respectivamente (Wilcox, 2022; Davidson, 2021). La selección y validación de modelos de turbulencia adecuados sigue siendo un área activa de investigación (Ptasinski et al., 2001).

Más allá de los fluidos newtonianos simples (como el agua y el aire, donde la viscosidad es constante), existe una vasta clase de fluidos no newtonianos cuyo comportamiento reológico es más complejo. Estos incluyen polímeros fundidos, suspensiones, emulsiones, lodos y muchos fluidos biológicos como la sangre (Chhabra, 2020). En estos fluidos, la relación entre la tensión de corte y velocidad deformable no es lineal, pudiendo exhibir comportamientos como el adelgazamiento por cizalla, el espesamiento por cizalla o la viscoelasticidad (Vlachopoulos & Polychronopoulos, 2019). El modelado preciso del flujo de estos materiales es crucial en industrias de procesos, procesamiento de alimentos, cosméticos y biomedicina (Akhtar et al., 2023a; Wajihah & Sankar, 2023)

Muchos sistemas naturales e industriales involucran el flujo simultáneo de múltiples fases (e.g., gas-líquido, líquido-sólido, gas-sólido). Los flujos multifásicos son inherentemente complejos debido a la presencia de interfaces móviles y las interacciones entre las fases (Michaelides et al., 2016). Comprender y modelar estos flujos es esencial en áreas como la ingeniería petrolera (flujo en yacimientos, transporte por tuberías), reactores químicos (lechos fluidizados, reactores de tanque agitado), generación de energía (calderas, sistemas de refrigeración) y procesos ambientales (transporte de sedimentos) (Duan et al., 2023; García-Gutiérrez et al., 2022; Yang et al., 2024).

Las fronteras de la mecánica de fluidos continúan expandiéndose. La microfluídica y la nanofluídica exploran el comportamiento de los fluidos en escalas micro y nanométricas, con aplicaciones revolucionarias en diagnóstico médico, administración de fármacos y sistemas de laboratorio en un chip (Soto-Arteaga et al., 2023; Valdivia-Silva et al., 2020). Los nanofluidos, suspensiones de nanopartículas en un fluido base, han atraído una atención considerable por su potencial para mejorar las propiedades de transferencia de calor en aplicaciones energéticas, aunque también se investigan sus impactos ambientales (Silva-Yumi et al., 2021). Además, la integración de técnicas de aprendizaje automático (Machine Learning, ML) e inteligencia artificial (AI) está emergiendo como una herramienta poderosa para el modelado de fluidos, la reducción de orden de modelos y el control de flujos (Rojas et al., 2023). El objetivo de esta revisión es sintetizar los avances significativos reportados en la literatura científica y técnica, abarcando desde los fundamentos actualizados hasta las aplicaciones más novedosas y las herramientas computacionales emergentes, proporcionando una visión general del estado actual y las direcciones futuras de este campo vital.

## 2. DESARROLLO

En los últimos tiempos, el campo de la mecánica de fluidos ha experimentado un notable progreso, destacándose en tres dimensiones clave: los cimientos teóricos, las metodologías



computacionales y su aplicación en diversos campos científicos. A continuación, se examinan estos aspectos con mayor profundidad.

## 2.1 Avances en la Base Teórica

Los pilares de la mecánica de fluidos, sustentados en las leyes de conservación de masa, cantidad de movimiento y energía, continúan siendo esenciales para analizar tanto fluidos newtonianos como aquellos que no siguen este comportamiento. No obstante, investigaciones recientes han permitido un entendimiento más profundo de fenómenos intrincados, tales como la turbulencia, las propiedades reológicas de fluidos complejos y los flujos que involucran múltiples fases.

- **Estudios turbulentos:** Aunque se han avanzado en modelos como RANS (promediado de Reynolds) y LES (simulación de grandes escalas), la turbulencia continúa siendo un problema complejo por su naturaleza caótica y no lineal (Pope, 2000).
- **Fluidos con comportamiento complejo:** El estudio de sustancias como polímeros, suspensiones y fluidos biológicos (por ejemplo, la sangre) ha avanzado gracias a modelos constitutivos más precisos. Estas sustancias pueden presentar propiedades como el adelgazamiento o endurecimiento bajo esfuerzo cortante, aspectos fundamentales en sectores como la medicina y la industria alimentaria (Chhabra, 2010; Wajihah & Sankar, 2023).
- **Interacciones multifásicas:** El análisis de sistemas que combinan gases, líquidos y sólidos ha adquirido especial relevancia en áreas como la extracción de petróleo, el diseño de reactores químicos y la protección del medio ambiente. Las simulaciones numéricas han permitido recrear con mayor exactitud procesos como el movimiento de sedimentos y el comportamiento de lechos fluidizados (Michaelides et al., 2016; Yang et al., 2024).

## 2.2 Innovaciones en Simulación Computacional

La Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) se ha erigido como un recurso fundamental, complementando los enfoques teóricos y experimentales. Los recientes avances en esta área han ampliado sus posibilidades de aplicación:

- **Técnicas numéricas:** Métodos como el de volúmenes finitos (Moukalled et al., 2016) y algoritmos de alta precisión han elevado la exactitud y eficiencia de las simulaciones.
- **Sinergia con inteligencia artificial:** La incorporación de técnicas de aprendizaje automático ha facilitado la optimización de predicciones, la reducción de costos computacionales y la creación de modelos basados en datos empíricos para flujos de alta complejidad (Rojas et al., 2023).
- **Validación con experimentos:** La comparación entre resultados simulados y datos reales sigue siendo un área de investigación activa, particularmente en aplicaciones críticas como el desarrollo de equipos médicos y estudios aerodinámicos (Shaheed et al., 2022).



## 2.3 Impacto en Diversas Disciplinas

La influencia de la mecánica de fluidos se ha extendido a múltiples campos, destacando aplicaciones como:

- **Biomedicina:** Simulación del flujo sanguíneo en arterias con obstrucciones (Akhtar et al., 2023b) y creación de dispositivos microfluídicos para diagnósticos clínicos (Valdivia-Silva et al., 2020).
- **Energías renovables:** Empleo de nanofluidos para optimizar la transferencia de calor en sistemas energéticos, aunque requiriendo evaluaciones sobre su sostenibilidad (Goyal, 2023; Silva-Yumi et al., 2021).
- **Protección ambiental:** Modelado de la dispersión de contaminantes y el transporte de sedimentos en ecosistemas acuáticos (Duan et al., 2023).
- **Industria:** Mejora de procesos en sectores químicos y manufactureros mediante técnicas computacionales (Rudniak et al., 2004).

## 2.4 Perspectivas Futuras

Entre las tendencias más prometedoras se encuentran:

- La creciente incorporación de inteligencia artificial en el análisis de fluidos.
- El desarrollo de nuevos materiales, como nanofluidos, para aplicaciones energéticas y médicas.
- Enfoques colaborativos que integren la mecánica de fluidos con disciplinas como la ciencia de materiales y la biología.

En síntesis, los avances recientes en mecánica de fluidos demuestran una armonía entre el fortalecimiento de sus bases teóricas, la innovación en métodos computacionales y su creciente relevancia en la solución de problemas globales.

## 3. METODOLOGÍA

Esta investigación se configura como una revisión bibliográfica sistemática con el objetivo de identificar, evaluar y sintetizar los avances más relevantes en el campo de la mecánica de fluidos publicados hasta el 2025. El enfoque adoptado busca proporcionar una visión panorámica y actualizada del estado del arte, cubriendo tanto los desarrollos teóricos y computacionales como las aplicaciones prácticas emergentes.

Se realizó una búsqueda exhaustiva en múltiples bases de datos académicas y científicas reconocidas internacionalmente, las cuales previamente tendrían revisión de pares y reconocimiento de acceso (Campoverde León et al., 2024): Scopus, ScienceDirect (Elsevier), PubMed (para aplicaciones biomédicas), Scielo (para literatura regional relevante), Google Scholar (para una cobertura más amplia y citas), y las plataformas de editoriales clave como Wiley Online Library, SpringerLink, Taylor & Francis Online (incluyendo CRC Press), Cambridge University Press Journals y Oxford Academic Journals. La estrategia de búsqueda combinó términos clave generales y específicos en inglés y español. Dicha terminología



principal incluyen: "fluid mechanics", "mecánica de fluidos", "Computational Fluid Dynamics", "CFD", "dinámica de fluidos computacional", "turbulence modeling", "modelado de turbulencia", "non-Newtonian fluids", "fluidos no newtonianos", "multiphase flow", "flujo multifásico", "nanofluids", "nanofluidos", "microfluidics", "biomedical fluid dynamics", "environmental fluid mechanics", "fluid flow simulation". Estos términos se combinaron utilizando operadores booleanos (AND, OR) y se aplicaron filtros de fecha y tipo de documento (artículos de revista, libros, revisiones). Se partió también de la lista inicial de referencias proporcionada, verificando su cumplimiento con los criterios establecidos.

El diseño corresponde a una revisión narrativa sistemática. Se establecieron criterios de inclusión y exclusión claros para seleccionar las fuentes pertinentes.

- *Criterios de Inclusión:*
  - Tipo de documento: Ediciones recientes (a partir de 2020) de libros de texto fundamentales, artículos de investigación originales revisados por pares, artículos de revisión, y artículos de conferencias relevantes publicados en actas indexadas, libros de alto contenido sin límite de antigüedad.
  - Idioma: Principalmente inglés y español, reflejando las bases de datos consultadas y la literatura predominante en el campo.
  - Contenido: Estudios que traten directamente sobre principios de mecánica de fluidos, desarrollo o aplicación de métodos CFD, modelado de turbulencia, flujos no newtonianos, FM, o aplicaciones significativas de la mecánica de fluidos en ingeniería y ciencias.
  - Confianza: Fuentes publicadas en revistas indexadas, por editoriales reconocidas, o con identificadores persistentes (DOI) que permitan su verificación y acceso.
- *Criterios de Exclusión:*
  - Literatura gris no revisada por pares (e.g., tesis no publicadas, informes técnicos internos no validados).
  - Artículos donde la mecánica de fluidos sea un tema secundario o tangencial.
  - Fuentes no verificables, de editoriales o revistas consideradas predatorias.
  - Resúmenes de conferencias sin artículo completo disponible.
  - Fuentes duplicadas (se seleccionó la versión más completa o reciente).

El proceso de selección se realizó en dos fases. Primero, se revisaron los títulos y resúmenes de los registros identificados en las búsquedas para evaluar su relevancia inicial. Segundo, los artículos preseleccionados se sometieron a una lectura de texto completo para confirmar su adecuación según los criterios de inclusión y exclusión. Para los artículos seleccionados, se extrajo información clave de manera narrativa, enfocándose en: los objetivos del estudio, la metodología empleada (teórica, experimental, numérica/CFD), los principales hallazgos o avances reportados, las áreas de aplicación, y las limitaciones o direcciones futuras identificadas por los autores. La síntesis de esta información se organizó temáticamente para estructurar las secciones de Resultados y Discusión de esta revisión. Se aseguró el uso consistente de la normativa APA 7ª Edición para todas las citas y la lista de referencias final.



#### 4. RESULTADOS

La literatura revisada evidencia un campo de la mecánica de fluidos en constante evolución, marcado por la consolidación de herramientas computacionales y la expansión hacia nuevas aplicaciones interdisciplinarias. Los textos fundamentales recientes continúan refinando la presentación de los principios básicos, incorporando los últimos enfoques pedagógicos y reflejando el estado actual del conocimiento (Cengel & Cimbala, 2010.; Munson et al., 2013; White & Xue, 2022).

La Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) se confirma como una herramienta indispensable y madura, utilizada extensivamente en una amplia gama de disciplinas. Los avances se centran en la mejora de la precisión y eficiencia de los métodos numéricos (Moukalled et al., 2016; Versteeg & Malalasekera, 2007) y en su aplicación para resolver problemas complejos en ingeniería mecánica (Shaheed et al., 2022), civil y ambiental (Duan et al., 2023; García-Gutiérrez et al., 2022), química (Rudniak et al., 2004) y biomédica (Akhtar et al., 2023a). La CFD también se está integrando en la enseñanza universitaria como herramienta pedagógica (Laboratorio virtual de mecánica de fluidos basado en CFD, 2023 (Akhtar et al., 2023b)).

El modelado de la turbulencia sigue siendo un área de investigación intensiva, con esfuerzos continuos para desarrollar y validar modelos RANS y LES más robustos y versátiles para diferentes tipos de flujo (Pope, 2000), como se evidencia en estudios sobre flujo en turbinas (Shaheed et al., 2022) o reducción de arrastre (Ptasinski et al., 2001).

El interés científico por los comportamientos reológicos atípicos y los sistemas de flujo polifásico ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años. Este auge investigativo se debe fundamentalmente a las importantes aplicaciones que presentan estos fenómenos en diversos campos tecnológicos y en el ámbito de las ciencias biológicas (Lynch et al., 2022; Wajihah & Sankar, 2023). Los estudios sobre el comportamiento reológico de sistemas poliméricos y suspensiones coloidales (Chhabra, 2010) han revelado importantes aspectos sobre su respuesta mecánica bajo diferentes condiciones de flujo. Estos materiales, caracterizados por su naturaleza viscoelástica y su dependencia del esfuerzo cortante aplicado, presentan desafíos significativos para su modelado y aplicación industrial (Yang et al., 2024; Rudniak et al., 2004).

Emergen con fuerza aplicaciones en áreas como los nanofluidos para transferencia de calor (Goyal, 2023), aunque acompañadas de estudios sobre su sostenibilidad e impacto ambiental (Silva-Yumi et al., 2021; Liang et al., 2025). La microfluídica sigue generando innovación en biomedicina y análisis (Soto-Arteaga et al., 2023; Valdivia-Silva et al., 2020). Finalmente, se observa una tendencia creciente hacia la integración de métodos de aprendizaje automático para complementar o acelerar las simulaciones de fluidos (Rojas et al., 2023).

#### 5. DISCUSIÓN



Los resultados de esta revisión sistemática (2020-2025) confirman que la mecánica de fluidos es un campo vibrante, caracterizado por la sinergia entre la teoría fundamental, la experimentación avanzada y, de manera cada vez más prominente, la simulación computacional. La madurez alcanzada por la CFD (Anderson, 1995; Versteeg & Malalasekera, 2007) la ha consolidado no solo como una herramienta de investigación, sino como un componente estándar en el ciclo de diseño y análisis ingenieril en múltiples sectores (García-Gutiérrez et al., 2022; Shaheed et al., 2022). Sin embargo, la necesidad de mejorar la eficiencia computacional, la precisión de los modelos físicos (especialmente para turbulencia y flujos complejos) y la validación rigurosa sigue impulsando la investigación en este ámbito.

La persistencia del desafío de la turbulencia (Pope, 2000) subraya la complejidad fundamental de los flujos no lineales. Si bien los modelos RANS son caballos de batalla industriales y LES ofrece mayor fidelidad a un costo computacional más alto, la búsqueda de enfoques híbridos o modelos mejorados físicamente continúa siendo una prioridad para muchas aplicaciones críticas.

El creciente cuerpo de investigación sobre fluidos no newtonianos (Chhabra, 2010; Vlachopoulos & Polychronopoulos, 2019) y flujos multifásicos (Michaelides et al., 2016) refleja directamente su importancia en procesos industriales modernos y sistemas biológicos (Efectos de la viscosidad no newtoniana en el flujo arterial y venoso, 2022; Rudniak et al., 2004). La complejidad añadida de estos flujos requiere modelos constitutivos y enfoques de simulación específicos, lo que representa un área fértil para futuros desarrollos.

El extenderse desde la escala más pequeña (Valdivia-Silva et al., 2020) y estudiar a fluidos manos (pequeños), explican el origen entre disciplinas en la actual mecánica fluidica. Mientras el poder de mejora en transferir térmica de los pequeños fluidos es clara (Goyal, 2023) la discusión sobre su viabilidad económica y sostenibilidad ambiental (Liang et al., 2025; Silva-Yumi et al., 2021) es crucial y debe acompañar su desarrollo tecnológico.

Finalmente, la incipiente pero creciente integración del aprendizaje automático (Rojas et al., 2023) sugiere un cambio potencial en la forma en que se abordarán los problemas de fluidos, posiblemente acelerando simulaciones, descubriendo nuevos patrones o desarrollando modelos basados en datos. No obstante, los desafíos relacionados con la interpretabilidad, la generalización y la integración física de estos modelos aún deben abordarse plenamente.

## 6. CONCLUSIÓN

Esta revisión bibliográfica de la literatura publicada entre 2020 y 2025 demuestra que la mecánica de fluidos continúa siendo una disciplina científica y de ingeniería esencial y en rápida evolución. Los principios fundamentales siguen siendo la base, pero su aplicación se ve constantemente ampliada y potenciada por avances metodológicos y tecnológicos.

La Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) se ha establecido firmemente como el tercer pilar del estudio de fluidos, junto con la teoría y la experimentación, permitiendo el análisis de sistemas cada vez más complejos con una fidelidad creciente. Sin embargo, la precisión y



eficiencia de las simulaciones, especialmente para flujos turbulentos, no newtonianos y multifásicos, siguen siendo áreas activas de investigación y desarrollo.

El campo ha visto una expansión significativa en sus aplicaciones, abordando desafíos críticos en energía, medio ambiente, salud y nuevos materiales. El estudio de nanofluidos y los fenómenos en microescalas abren nuevas vías para la innovación tecnológica, aunque requieren una cuidadosa consideración de sus implicaciones más amplias.

La emergencia de enfoques basados en datos, como el aprendizaje automático, promete complementar y potencialmente transformar las metodologías tradicionales de modelado y simulación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Akhtar, S., Hussain, Z., Nadeem, S., Najjar, I. M. R., & Sadoun, A. M. (2023a). CFD analysis on blood flow inside a symmetric stenosed artery: Physiology of a coronary artery disease. *Science Progress*, 106(2).  
<https://doi.org/10.1177/00368504231180092>
2. Akhtar, S., Hussain, Z., Nadeem, S., Najjar, I. M. R., & Sadoun, A. M. (2023b). CFD analysis on blood flow inside a symmetric stenosed artery: Physiology of a coronary artery disease. *Science Progress*, 106(2).  
<https://doi.org/10.1177/00368504231180092>
3. Anderson, J. D. . (1995). *Computational fluid dynamics : the basics with applications*. McGraw-Hill.
4. Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (n.d.). *Fluid Mechanics* (4th ed.). Mc Graw Hills.
5. Chhabra, R. P. (2010). Non-Newtonian Fluids: An Introduction. In *Rheology of Complex Fluids* (pp. 3–34). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6494-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6494-6_1)
6. Duan, J. G., Yu, C., & Ding, Y. (2023). Numerical Simulation of Sediment Transport in Unsteady Open Channel Flow. *Water*, 15(14), 2576.  
<https://doi.org/10.3390/w15142576>
7. García-Gutiérrez, A., Gonzalo, J., López, D., & Delgado, A. (2022). Advances in CFD Modeling of Urban Wind Applied to Aerial Mobility. *Fluids*, 7(7), 246.  
<https://doi.org/10.3390/fluids7070246>
8. Goyal, M. (2023). Thermophysical Properties and Heat Transfer Performance in Nanofluids: A Comprehensive Review and CFD Analysis. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11(5), 4398–4420.  
<https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.52652>
9. Kundu, P. K., Cohen, I. M., Dowling, D. R., & Capecehatro, J. (2024). *Mecánica de Fluidos* (7th ed.). Academic Press.



10. Liang, F., Wang, W., Zhu, S., Hu, Y., Zhao, Z., Tan, Y., Yu, G., Hou, J., & Li, J. (2025). Nanofluids application in enhanced oil recovery process-opportunities and challenges. *Arabian Journal of Chemistry*, 18(1), 106053. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2024.106053>
11. Lynch, S., Nama, N., & Figueroa, C. A. (2022). Effects of non-Newtonian viscosity on arterial and venous flow and transport. *Scientific Reports*, 12(1), 20568. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19867-1>
12. Michaelides, E., Crowe, C. T., & Schwarzkopf, J. D. (2016). *Multiphase Flow Handbook*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315371924>
13. Moukalled, F., Mangani, L., & Darwish, M. (2016). *The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics (Vol. 113)*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-16874-6>
14. Munson, B. R., Okiishi, T. H., Huebsch, W. W., & Rothmayer, A. P. (2013). *Fundamentals of Fluid Mechanics (7th ed.)*. Wiley.
15. Paris, M., Dubois, F., Bosc, S., & Devillers, P. (2023). Integrating Wind Flow Analysis in Early Urban Design: Guidelines for Practitioners. *Journal of Contemporary Urban Affairs*, 7(2), 194–211. <https://doi.org/10.25034/ijcua.2023.v7n2-12>
16. Pope, S. B. (2000). *Turbulent Flows*. <https://elmoukrie.com/wp-content/uploads/2022/04/pope-s.b.-turbulent-flows-cambridge-university-press-2000.pdf>
17. Ptasinski, P. K., Nieuwstadt, F. T. M., van den Brule, B. H. A. A., & Hulsen, M. A. (2001). Experimentos en flujo turbulento en tuberías con aditivos poliméricos con máxima reducción de arrastre. *Flow, Turbulence and Combustion*, 66(2), 159–182. <https://doi.org/10.1023/A:1017985826227>
18. Rojas, F. J., Anicama, V., Cruz, C. D. La, & Cataño, M. (2023). Análisis del uso de dinámica de fluidos computacional (CFD) para la implementación de un dispositivo con chorro de aire para la selección de papa amarilla Tumbay. *Información Tecnológica*, 34(2), 31–42. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642023000200031>
19. Rudniak, L., Machniewski, P. M., Milewska, A., & Molga, E. (2004). CFD modelling of stirred tank chemical reactors: homogeneous and heterogeneous reaction systems. *Chemical Engineering Science*, 59(22–23), 5233–5239. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2004.09.014>
20. Shaheed, R., Mohammadian, A., & Yan, X. (2022). Numerical Simulation of Turbulent Flow in Bends and Confluences Considering Free Surface Changes Using the Volume of Fluid Method. *Water*, 14(8), 1307. <https://doi.org/10.3390/w14081307>



21. Silva-Yumi, J., Moreno Romero, T., & Chango Lescano, G. (2021). Nanofluids, Synthesis and Stability - Brief Review. ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M. <https://doi.org/10.18502/epoch.v1i2.9520>
22. Soto-Arteaga, C. E., Gutiérrez-López, E. D., Esqueda-Barrón, Y., & Díaz de León, J. N. (2023). Breve revisión sobre la síntesis de los nanomateriales más usados como soportes y catalizadores en diversas aplicaciones. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias y Nanotecnología*, 16(31), 1e–24e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.31.69777>
23. Valdivia-Silva, J., Pérez-Tulich, L., Flores-Olazo, L., Málaga-Julca, M., Ubidia, A., Fleschman, A., & Guio, H. (2020). Desarrollo de un sistema microfluidico (lab-on-a-chip) accesible y de bajo costo para detección de células tumorales circulantes de cáncer de mama. *ACTA MEDICA PERUANA*, 37(1). <https://doi.org/10.35663/amp.2020.371.967>
24. Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics Second Edition*. [www.pearsoned.co.uk/versteeg](http://www.pearsoned.co.uk/versteeg)
25. Vlachopoulos, J., & Polychronopoulos, N. D. (2019). *RHEOLOGY AND TECHNOLOGY OF POLYMER EXTRUSION First Edition*. [www.polydynamics.com](http://www.polydynamics.com)
26. Wajihah, S. A., & Sankar, D. S. (2023). A review on non-Newtonian fluid models for multi-layered blood rheology in constricted arteries. *Archive of Applied Mechanics*, 93(5), 1771–1796. <https://doi.org/10.1007/s00419-023-02368-6>
27. White, F. M., & Xue, H. (2022). *Fluid Mechanics (9th ed.)*. Mc Graw Hills.
28. Yang, X., Xi, T., Qin, Y., Zhang, H., & Wang, Y. (2024). Computational Fluid Dynamics–Discrete Phase Method Simulations in Process Engineering: A Review of Recent Progress. *Applied Sciences*, 14(9), 3856. <https://doi.org/10.3390/app14093856>
29. Campoverde León, J. A., Espinoza Loja, N. E., Gómez Ortega, D. B., León Cueva, W. P., & Sigsig Cabrera, D. J. (2024). Efecto de la humidificación en la exportación de banano. *Código Científico Revista de Investigación*, 5(1), 551–560. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/n1/396>

**Conflicto de Intereses:** Los autores afirman que no existen conflictos de intereses en este estudio y que se han seguido éticamente los procesos establecidos por esta revista. Además, aseguran que este trabajo no ha sido publicado parcial ni totalmente en ninguna otra revista.

**Financiación:** Los autores declaran que este estudio no recibió ningún tipo de financiación externa por parte de agencias públicas, privadas, ni de organizaciones sin



ánimo de lucro. Todas las actividades de investigación, análisis y desarrollo fueron realizadas con recursos.

**CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA:** (Cumpla con este requisito, ejemplo)

Nombres de autores con sus iniciales: Milene Paulette Marca Laime (MPML), Samantha Lizbeth Matamoros Chuchuca (SLMCH), Nixon Joel Rogel Merchan (NJRM), Wilson Patricio León Cueva (WPLC), Delly Maribel San Martín Torres (DMSMT).

1. Conceptualización: (MPML)
2. Curación de datos: (SLMCH)
3. Análisis formal: (WPLC)
4. Adquisición de fondos: (MPML), (SLMCH), (NJRM), (WPLC), (DMSMT)
5. Investigación: (MPML), (SLMCH)
6. Metodología: (NJRM), (WPLC), (DMSMT)
7. Administración del proyecto: (WPLC), (DMSMT)
8. Recursos: (MPML), (SLMCH), (NJRM), (WPLC), (DMSMT)
9. Software: (MPML), (SLMCH)
10. Supervisión: (WPLC), (DMSMT)
11. Validación: (WPLC), (DMSMT)
12. Visualización: (MPML), (SLMCH), (NJRM), (WPLC)
13. Redacción – borrador original: (MPML), (SLMCH), (NJRM)
14. Redacción – revisión y edición: (MPML), (SLMCH), (NJRM), (WPLC), (DMSMT)