



**XXII Congreso Chileno de
Mecánica Computacional**
3 y 4 de octubre de 2024
Quilpué, Chile



Sociedad Chilena de
Mecánica Computacional

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE CÉLULAS INDIVIDUALES MEDIANTE DISPOSITIVOS MICROFLUÍDICOS UTILIZANDO UN NUEVO MÉTODO BASADO EN VISCO-HIPERELASTICIDAD

Aldo Abarca-Ortega^{1,2}, Blanca González-Bermúdez², Gustavo R. Plaza²

¹Departamento de Ingeniería Mecánica - Universidad de Santiago de Chile
Av. Bdo. O'Higgins 3363 – Santiago – CHILE
e-mail : aldo.abarca@usach.cl

²Centro de Tecnología Biomédica – Universidad Politécnica de Madrid
Madrid – España
e-mail : blanca.gbermudez@upm.es, gustavo.plaza@upm.es

Resumen

Las propiedades mecánicas de las células se utilizan como biomarcadores sin etiqueta del estado celular y su funcionalidad biológica. La microfluídica ha permitido un control preciso de las células en dispositivos de citometría basados en constricción. Sin embargo, los métodos actuales para evaluar las propiedades mecánicas de las células en suspensión tienen limitaciones. Este estudio presenta una nueva metodología que combina simulaciones numéricas y la teoría de viscoelasticidad cuasilineal de Fung para analizar estas propiedades. Se diseñó y fabricó un dispositivo de deformación celular de 12 canales basado en microfluidos (dispositivo cDC). Mediante simulaciones de interacción fluido-estructura, se evaluó la presión diferencial dentro de las constricciones y se modeló la deformación celular. Se presenta un nuevo método para evaluar las propiedades mecánicas de células individuales, validado con análisis experimentales. La nueva metodología supera las limitaciones de técnicas previas y ofrece una herramienta valiosa para dispositivos microfluídicos. Las simulaciones numéricas demuestran la eficacia del método para evaluar la presión y modelar la deformación celular. La aplicación experimental muestra su idoneidad y potencial para obtener resultados significativos.

Agradecimientos

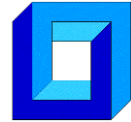
Los autores recibieron apoyo del Ministerio de Economía y Competitividad, España, a través del proyecto MAT2016-76847-R. A.A-O. agradece el apoyo proporcionado por DICYT de la Universidad de Santiago de Chile.

REFERENCIAS

- [1] N. Bufi et al., «Human Primary Immune Cells Exhibit Distinct Mechanical Properties that Are Modified by Inflammation», *Biophysical Journal*, 2015.
- [2] M. Urbanska et al., «A comparison of microfluidic methods for high-throughput cell deformability measurements», *Nature Methods*, 2020.
- [3] A. Abarca-Ortega et al., «Single-cell mechanical characterization in constriction-based cytometry», *International Journal of Mechanical Sciences*, 2024.



**XXII Congreso Chileno de
Mecánica Computacional**
3 y 4 de octubre de 2024
Quilpué, Chile



Sociedad Chilena de
Mecánica Computacional

INFLUENCIA DE MODELOS DE TURBULENCIA EN LA HEMODYNÁMICA DE ANEURISMAS INTRACRANEALES PACIENTE-ESPECÍFICO

Felipe Montecinos C.¹ y Álvaro Valencia M.¹

¹Departamento de Ingeniería Mecánica - Universidad de Santiago de Chile
Av. Beaucheff 851 – Santiago – CHILE
e-mail : femontecinos@ug.uchile.cl, alvalenc@uchile.cl

RESUMEN

En la actualidad las simulaciones computacionales son de gran utilidad en el área de la biomecánica, a través de las cuales se pueden modelar flujos de sangre a través de las aneurismas y tener una noción de qué aspectos hemodinámicos influyen en su crecimiento y ruptura. El presente trabajo busca analizar la influencia de diferentes modelos de turbulencia, en la hemodinámica y parámetros clave del flujo de sangre a través de diferentes geometrías de aneurismas paciente específicas. Entre los principales objetivos se encuentran estudiar las estructuras de flujo al interior de la aneurisma, comparar los parámetros hemodinámicos clave para cada modelo de turbulencia, y concluir cuál es el modelo más adecuado para representar el fenómeno fluidodinámico.

Para realizar la investigación, se realizan simulaciones CFD (Computational Fluid Dynamics) en Ansys Fluent, utilizando flujos pulsátiles reales en geometrías de aneurismas intracraneales paciente-específico. Los modelos de turbulencia a utilizar son $k-\epsilon$, $k-\omega$ y LES (Large Eddy Simulation), y se comparan con el caso laminar. La principal utilidad de este estudio corresponde a replicar estructuras vorticiales y de flujo más cercanas a la realidad, pudiendo ser un aporte en la predicción de futuras rupturas.

REFERENCIAS

- [1] Vergara, C., Le Van, D., Quadrio, M., Formaggia, L., & Domanin, M. (2017). Large eddy simulations of blood dynamics in abdominal aortic aneurysms. *Medical Engineering & Physics*, 47, 38–46. doi:10.1016/j.medengphy.2017.06.030
- [2] Brambila Solórzano, A., Méndez-Lavielle, F., Naude, J., Sánchez, G., García-Rebolledo, A., Hernández, B., & Escobar del Pozo, C. (2023). Influence of Blood Rheology and Turbulence Models in the Numerical Simulation of Aneurysms. *Bioengineering*, 10, 1170. doi:10.3390/bioengineering10101170
- [3] Valen-Sendstad, K., Mardal, K.-A., Mortensen, M., Reif, B. A. P., & Langtangen, H. P. (2011). Direct numerical simulation of transitional flow in a patient-specific intracranial aneurysm. *Journal of Biomechanics*, 44(16), 2826–2832. doi:10.1016/j.jbiomech.2011.08.015



**XXII Congreso Chileno de
Mecánica Computacional**
3 y 4 de octubre de 2024
Quilpué, Chile



Sociedad Chilena de
Mecánica Computacional

Problemas directos e inversos en hemodinámica. Aproximación de campos de viscosidad en arterias largas a partir de medidas de resonancia magnética tipo 4D-flow.

Felipe Galarce¹, Hernán Mella², Ernesto Castillo³, Alfonso Caiazzo⁴

¹ Escuela de Ingeniería Civil – Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Santiago, Chile.
e-mail : felipe.galarce@pucv.cl

² Escuela de Ingeniería Mecánica - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Santiago, Chile.
e-mail : hernan.mella@pucv.cl

³ Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Santiago de Chile. Santiago, Chile.
e-mail: ernesto.castillo@usach.cl

⁴ Weierstrass Institut für Angewandte Analysis und Stochastics. Berlin, Alemania.
e-mail: caiazzo@wias-berlin.de

RESUMEN

La estimación no invasiva del flujo sanguíneo y su comportamiento mecánico es de importancia dada su intrínseca correlación con el funcionamiento del sistema cardiovascular. Este trabajo propone un método de asimilación de datos capaz de reconstruir campos de velocidad y viscosidad a partir de imágenes de baja resolución en arterias largas, como la aorta o las carótidas. Para este fin, se asumen ecuaciones gobernantes de conservación con un componente no lineal, en ley de potencia [1], que observamos cobra importancia tanto en problemas directos como inversos a propósito de concentraciones elevadas de glóbulos rojos. El modelo directo es resuelto mediante el método de elementos finitos y se entrena un modelo reducido capaz de capturar el acoplamiento entre velocidad y viscosidad en la física gobernante. Esto permite realizar reconstrucciones *ciegas*, en el sentido de que basta con medidas de velocidad en un plano para extrapolar un campo de velocidad en un dominio 3D así como un campo de viscosidades asociado. Además, el problema de optimización asociado [1] considera términos adicionales para manejar ruido sistemático y aleatorio, propios en medidas de resonancia magnética [3]. Se presenta una batería de ejemplos numéricos que validan la reconstrucción para casos de flujo sano y patológico.

REFERENCIAS

- [1] H. Mella, F. Galarce, T. Sekine, J. Sotelo, E. Castillo. Enhancing Hemodynamic Parameter Estimations: Nonlinear Blood Behavior in 4D Flow MRI. Arxiv pre-print. 2024.
- [2] Y. Maday, A. Patera, J. D. Penn, and M. Yano, “A parameterized-background data-weak approach to variational data assimilation: formulation, analysis, and application to acoustics”, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 102. International Journal for Numerical Methods in Engineering, pp. 933–965, May 04, 2015.
- [3] F. Galarce, A. Caiazzo, J. Mura. Bias and Multiscale Correction Methods for Variational State Estimation Algorithms. Arxiv pre-print. 2024.



**XXII Congreso Chileno de
Mecánica Computacional**
3 y 4 de octubre de 2024
Quilpué, Chile



Sociedad Chilena de
Mecánica Computacional

Diseño numérico de un citómetro tipo espiral basado en microfluidos inerciales para *sorting* celular por tamaño

Ariel Abarca-Sepúlveda¹, Aldo Abarca-Ortega¹

¹Departamento de Ingeniería Mecánica - Universidad de Santiago de Chile
Av. Bdo. O'Higgins 3363 – Santiago – CHILE
e-mail : ariel.abarca.s@usach.cl, aldo.abarca@usach.cl

RESUMEN

La separación de distintos tipos de células es crucial en aplicaciones biomédicas y de investigación, como la identificación y análisis de células del sistema inmune e incluso enumeración de células tumorales. Actualmente las técnicas de citometría celular requieren equipos de laboratorio robustos y complejos. La tecnología de *lab-on-a-chip* permite reducir estos tamaños a través de la aplicación de micro-dispositivos fabricados por fotolitografía [1,2]. En este estudio se presenta el diseño de un citómetro de microfluidos inerciales de tipo espiral, para la separación eficiente de partículas (*sorting*) en base a longitudes de equilibrio. El dispositivo aprovecha la formación de flujos secundarios inducidos por la curvatura del canal para concentrar y separar partículas de diferentes tamaños, cuya aplicación permite separar cultivo celular del sistema inmune para la posterior caracterización mecánica de células T. Se realizarán simulaciones numéricas utilizando acople de Mecánica de fluidos computacional (CFD) con el Método de elementos discretos (DEM), donde una mezcla de partículas de distintos tamaños y posiciones aleatorias fluyen por el dispositivo. Los resultados permitirán optimizar el diseño del citómetro, mediante un proceso iterativo, para maximizar la eficiencia de la separación de partículas.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo proporcionado por DICYT, VRIIC y el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Santiago de Chile.

REFERENCIAS

- [1] Di Carlo, D. (2009). Inertial microfluidics. En *Lab on a Chip* (Vol. 9, Issue 21, p. 3038). Royal Society of Chemistry (RSC).
- [2] Tang, W., Zhu, S., Jiang, D., Zhu, L., Yang, J., & Xiang, N. (2020). Channel innovations for inertial microfluidics. En *Lab on a Chip* (Vol. 20, Issue 19, pp. 3485–3502). Royal Society of Chemistry (RSC).



**XXII Congreso Chileno de
Mecánica Computacional**
3 y 4 de octubre de 2024
Quilpué, Chile



Sociedad Chilena de
Mecánica Computacional

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE VÁLVULAS VENOSAS EN EL FLUJO SANGUÍNEO MEDIANTE SIMULACIÓN NÚMERICA CFD EN ANSYS FLUENT

Benjamín Velásquez¹, Álvaro Dinamarca¹ y Wladimir Silva¹

Facultad de Ciencias Naturales, Matemáticas y Medio Ambiente – Universidad Tecnológica
Metropolitana

Av. José Pedro Alessandri 1242, Ñuñoa, Región Metropolitana, Chile
e-mail: bvelasquez@utem.cl adinamarca@utem.cl w.silvav@utem.cl

RESUMEN

Se utiliza Ansys Fluent® para analizar el comportamiento del flujo sanguíneo pulsante por el interior de una vena humana. Se logró una geometría precisa con dimensiones reales de una vena, permitiendo un análisis detallado del comportamiento del flujo. El estudio consideró un flujo pulsante, que imita las condiciones fisiológicas del flujo sanguíneo en venas reales. Se incluyeron parámetros críticos como la relación de viscosidad, temperatura y la tasa de cizalladura para reflejar las propiedades reológicas de la sangre [1]. El análisis muestra cómo la apertura o cierre de las válvulas venosas afecta la dirección y velocidad del flujo sanguíneo, proporcionando información sobre posibles áreas de estancamiento y formación de turbulencias. Estos hallazgos son cruciales para entender problemas vasculares como la insuficiencia venosa y el desarrollo de trombosis [2]. Los resultados obtenidos pueden contribuir al diseño de tratamientos y dispositivos médicos más efectivos para problemas venosos, al mejorar la comprensión del comportamiento del flujo sanguíneo bajo diversas condiciones fisiológicas.

REFERENCIAS

[1] Muñoz, J., & García, P. (2021). Investigación sobre válvulas venosas y flujo sanguíneo. *Journal of Vascular Research*, 58(3), 145-159.

[2] Pérez, A., & Fernández, L. (2020). Estudios reológicos de la sangre y su impacto en la dinámica del flujo venoso. *Blood Flow Dynamics Journal*, 12(2), 89-102.



**XXII Congreso Chileno de
Mecánica Computacional**
3 y 4 de octubre de 2024
Quilpué, Chile



Sociedad Chilena de
Mecánica Computacional

Estimación de estado e identificación de parámetros en flujos sanguíneos en una aorta utilizando redes neuronales informadas por la física

Moisés Sierpe¹, Felipe Galarce², Hernán Mella³ y Ernesto Castillo¹

¹Departamento de Ingeniería Mecánica - Universidad de Santiago de Chile
Av. Bdo. O'Higgins 3363 – Santiago – CHILE
e-mail : moises.sierpe@usach.cl, ernesto.castillode@usach.cl

²Escuela de Ingeniería Civil – Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Av. Brasil 2147 – Valparaíso – CHILE
e-mail : felipe.galarce@pucv.cl

³Escuela de Ingeniería Eléctrica – Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Av. Brasil 2147 – Valparaíso – CHILE
e-mail : hernan.mella@pucv.cl

RESUMEN

Las redes neuronales informadas por la física (PINNs), son una técnica novedosa que ha demostrado gran potencial en resolver problemas inversos donde las observaciones son limitadas, pero se tiene conocimiento de las ecuaciones gobernantes del sistema. En este trabajo se utilizan PINNs para estimar campos físicos como la presión, métricas de interés médico como los esfuerzos cortantes en la pared (WSS), índice de estrés oscilatorio (OSI), velocidad media, flujo punta, y volumen sistólico, y condiciones de borde del tipo Windkessel, desde imágenes de velocidad de flujo obtenidas con 4D Flow MRI [1]. En este trabajo, se estudian tres casos de flujo para validar y luego demostrar la capacidad de la metodología: 1) Caso sintético en una geometría cilíndrica, 2) Caso sintético en una geometría de aorta, y 3) Caso in-vitro de un phantom de aorta. Para lograr mejores resultados se aplican técnicas de diseño y entrenamiento de PINNs como características de Fourier, balance adaptativo de pérdidas, entre otras [2] [3]. Los resultados ratifican que el uso de PINNs para flujos sanguíneos permiten la inferencia de parámetros de interés clínico para el diagnóstico y seguimiento de enfermedades cardiovasculares.

Agradecimientos

Este trabajo está enmarcado en el proyecto FONDECYT 1210156.

REFERENCIAS

- [1] Urbina, J. et al., "Realistic aortic phantom to study hemodynamics using MRI and cardiac catheterization in normal and aortic coarctation conditions," *J Magn Reson Imaging*, vol. 3, no. 44, pp. 683-697, 2016.
- [2] Wang, S. et al., "An Expert's Guide to Training Physics-informed Neural Networks," *arXiv preprint arXiv:2308.08468*, 2023.
- [3] Jin, G. et al., "Fourier warm start for physics-informed neural networks," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 132, p. 107887, 2024.