

# Simulación numérica del régimen de flujo transitorio en el sistema cardiovascular humano

Juan Mairal<sup>1</sup>, Javier Murillo<sup>1</sup>, Pilar García-Navarro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tecnologías Fluidodinámicas (TFD)

Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)

Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.

Tel. +34-976762707, e-mail: [mairal@unizar.es](mailto:mairal@unizar.es)

## Introducción

Se presenta una metodología para acoplar modelos 0D como condiciones de contorno a modelos 1D en redes de vasos sanguíneos, permitiendo simular respuestas hemodinámicas transitorias a cambios posturales. Este enfoque supera las limitaciones de los modelos previos al manejar condiciones de flujo transónico, demostrando su efectividad en la simulación de maniobras rápidas, como el cambio de posición de supino a erguido.

## Cuerpo

El modelado numérico de flujo sanguíneo en redes usando enfoques unidimensionales (1D) [1, 2] acoplados con modelos cero-dimensionales (0D) es una alternativa eficiente a los modelos tridimensionales (3D) para analizar el flujo en arterias y venas grandes y medianas. Este enfoque se basa en nuevas técnicas para resolver las uniones de vasos [3] y para acoplar condiciones de contorno internas, como las válvulas, o externas, como el corazón y los lechos vasculares [4], permitiendo investigar respuestas hemodinámicas a cambios posturales con un menor costo computacional.

## Desafíos

Uno de los principales desafíos es la incapacidad de los métodos 1D existentes para simular maniobras rápidas debido a su limitación a condiciones de flujo subsónico tanto en las uniones de vasos como en los lechos vasculares, las válvulas de las venas y el corazón. Para superar esto, se propone una extensión de la metodología del Junction Riemann Problem (JRP) como condición de contorno para acoplar modelos 0D y 1D, permitiendo manejar situaciones de flujo transónico.

## Metodología

La metodología se centra en el acoplamiento de los modelos 0D mencionados a un modelo 1D integral del aparato cardiovascular humano basado en la

simulación numérica por volúmenes finitos que describen el flujo en vasos sanguíneos. Esto se realiza mediante una formulación novedosa y ampliada del JRP, permitiendo una simulación precisa de las condiciones de flujo en diferentes regímenes (subcrítico, sónico y supercrítico).

## Aplicaciones

Como ejemplo de aplicación, se simula la respuesta transitoria a corto plazo al cambio de posición de cabeza arriba (HUT) de supino a erguido en un modelo de bucle cerrado. Los resultados muestran la capacidad y la robustez de los modelos numéricos presentados para manejar maniobras rápidas.

Otras aplicaciones para esta herramienta que se están investigando incluyen el análisis del comportamiento del flujo sanguíneo cuando las presiones internas aumentan considerablemente en el espacio de las vías respiratorias, como cuando se realiza la maniobra de Valsalva.

## Conclusiones

La metodología propuesta proporciona una herramienta robusta para el modelado hemodinámico en redes de vasos sanguíneos, abordando las limitaciones de los enfoques previos al manejar condiciones de flujo transónico. Esto es crucial para la simulación precisa de respuestas hemodinámicas a cambios posturales rápidos.

## REFERENCIAS

- [1]. DELESTRE, O., & LANGRÉE P.Y. A ‘well-balanced’ finite volume scheme for blood flow simulation. *Int J Numer Methods Fluids*. 2013;72(2):177-205. doi:10.1002/fld.3736
- [2]. TORO EF., & SIVIGLIA A,. Flow in Collapsible Tubes with Discontinuous Mechanical Properties: Mathematical Model and Exact Solutions. *Comm. In Comp Phys.* , 2013, vol. 13, no 2, p. 361-385.
- [3]. MURILLO, J. & GARCÍA-NAVARRO, P. A solution of the Junction Riemann Problem for 1D hyperbolic

balance laws in networks including supersonic flow conditions on elastic collapsible tubes. *Symmetry*. 2021, 1,

- [4]. MURILLO, J., & GARCÍA-NAVARRO, P. Coupled 0D-1D numerical modeling of vascular networks for simulating postural changes. *Journal of Computational Physics*, 2021, 438, 110350. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2021.110350>

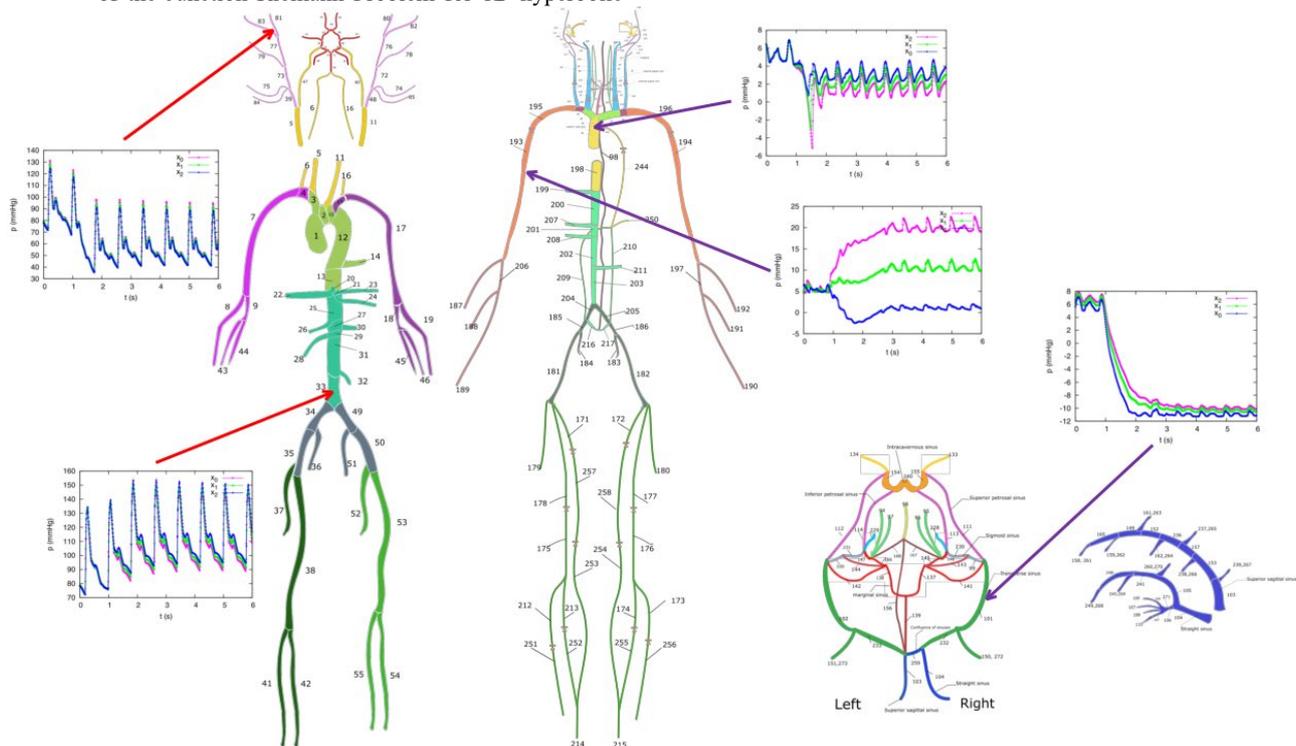


Figura 1: Esquemas del dominio cardiovascular sobre el que se ha simulado una maniobra de cambio de posición de supino a erguido. De izquierda a derecha: sistema arterial, sistema venoso y sistema venoso de la cabeza. Se representan datos de la presión en tres puntos de los vasos señalados a modo de ejemplo.

## ANEXO: INSTRUCCIONES COMPLEMENTARIAS PARA LA PRESENTACIÓN DEL ABSTRACT

- **Título de la presentación:** El título deberá ir obligatoriamente en minúsculas (si el título es en inglés, irá en mayúsculas la letra inicial de cada palabra, salvo las *palabras vacías* –artículos, preposiciones y pronombres-).
- **Nombre del autor(es):** Irán en orden natural -Nombre Apellido1 (Apellido2)- y en minúscula, separando cada autor por coma [,]. Se recomienda no utilizar iniciales para los nombres, sino la forma completa.
- **Afiliación:**
  - Deberá figurar el nombre del grupo de investigación del autor(es) en la primera línea desarrollado y con el acrónimo al final entre paréntesis, aunque todos los autores pertenezcan al mismo grupo.
  - Si todos los autores son del mismo grupo de investigación, no hará falta poner la nota en superíndice [<sup>1</sup>], ya que no es necesario aclarar qué afiliación le corresponde cada uno.
  - En caso de que haya autores de dos o más grupos del I3A, el segundo (y siguientes) se pondrá justo debajo del primero, antes de los datos de contacto.
  - El resto de información de contacto (dirección del I3A, etc.) se mantendrá tal cual aparece en la plantilla, salvo la dirección de email, que se pondrá únicamente la del autor que vaya a presentar la ponencia.
  - Para autores externos solo se citará el nombre de la institución.
- **Listado de referencias bibliográficas:** Deberá seguir obligatoriamente el estilo de la Norma [UNE-ISO 690:2013](#). Se recomienda el uso de gestores bibliográficos como Refworks o Endnote (se desaconseja la utilidad de citas integrada en Google Scholar por su inconsistencia). Ante cualquier duda, consultar con [i3a@unizar.es](mailto:i3a@unizar.es).

**Todos los trabajos deberán presentarse obligatoriamente en formato Word y sin la inclusión de este anexo a través del sistema de depósito de trabajos en línea de la revista disponible en la siguiente dirección: <https://papiro.unizar.es/ojs/index.php/ji3a/about/submissions> . A través del sistema de depósito se indicará la sección a la que se adscribe el trabajo: “Artículos (Ingeniería Biomédica)”, “Artículos (Procesos y Reciclado)”, “Artículos (Tecnologías de la Información y las Comunicaciones)” o “Artículos (Tecnologías Industriales)”.**

**Cualquier duda respecto a la forma de presentación podrá consultarse en la dirección de correo electrónico [i3a@unizar.es](mailto:i3a@unizar.es). Los trabajos que no sigan estas indicaciones serán devueltos a los autores para su corrección.**