



# Elaboración y caracterización de sangre artificial con propiedades hemodinámicas para la formación en cateterismo endovascular



Hernández-Ocón Luz Andrea.

Licenciatura en Ingeniería biomédica, Universidad Modelo, Mérida, Yucatán

## INTRODUCCIÓN

La formación en procedimientos médicos críticos, como el cateterismo endovascular, es crucial para la seguridad del paciente (Castillo-Estigarribia et al., 2015). El cateterismo implica la inserción de catéteres para diagnóstico y tratamiento de diferentes patologías, requiriendo habilidades técnicas y comprensión del flujo sanguíneo (NHLBI, 2022). Por lo que los simuladores médicos son esenciales para la formación, ofreciendo práctica sin riesgos para los pacientes (Núñez, 2019). Sin embargo, el realismo de la simulación es un factor determinante en su efectividad. En este contexto, la sangre simulada debe imitar las propiedades físicas y reológicas de la sangre humana, incluyendo viscosidad, densidad y comportamiento del fluido, para garantizar una formación efectiva.

## ANTECEDENTES

Para conocer los valores del flujo sanguíneo, Wesolowski & Młynarczak (2019) evalúan los valores de la viscosidad y densidad. En esta investigación, se tomó sangre de 30 voluntarios y se evaluaron experimentalmente la viscosidad y la densidad, bajo la condición de temperatura de 37° C. La viscosidad de la sangre se calculó mediante la ecuación de Hagen-Poiseuille, obteniendo como resultado, que el promedio de los valores de la viscosidad es de  $3.293 \times 10^{-3}$  Pa s y  $3.411 \times 10^{-3}$  Pa s. Igualmente, se encontró que la densidad promedio de la sangre es de  $1.0635 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>. Los valores de viscosidad y densidad obtenidos en este estudio sirven como puntos de referencia para lograr validar y ajustar los valores del flujo requeridos.

Además, Oglat et al. (2017) establecen que también existen valores de las características físicas determinados por la Comisión Internacional Electrotécnica (IEC) para la caracterización y estandarización de líquidos que imitan la sangre para objetos de prueba o simuladores de flujo, donde los componentes utilizados en la preparación de sangre artificial deben tener valores idénticos a los valores de la IEC. Estos valores pueden ser observados en la Tabla 1.

Tabla #1. Propiedades acústicas y físicas de un fluido imitador de sangre

Propiedades	Valores
Viscosidad ( $\times 10^{-3}$ Pa s)	$4.0 \pm 0.4$
Densidad ( $\times 10^3$ kg/m <sup>3</sup> )	$1.050 \pm 0.04$

Adaptado de "A new blood mimicking fluid using propylene glycol and their properties for a flow phantom test of medical doppler ultrasound" de Oglat, A. A. et al., 2017 International Journal of Chemistry, Pharmacy & Technology, 2(5), 220-231. ISSN # 2456-8473

xantana y 0,01 % de almidón muestra la diferencia porcentual de viscosidad más pequeña en comparación con la viscosidad de la sangre real, siendo de  $3.71 \pm 0.34 \times 10^{-3}$  Pa s, que se encuentra dentro del rango de viscosidad normal real de la sangre.

## OBJETIVO

Elaborar y caracterizar un fluido que imite de manera precisa las propiedades dinámicas y físicas de la sangre humana de la región abdominal y torácica, para su integración en un entrenador de cateterismo endovascular para internos radiólogos.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

El aumento en procedimientos endovasculares debido al envejecimiento poblacional y el incremento de enfermedades cardiovasculares resalta la necesidad de profesionales altamente capacitados en cateterismo endovascular (Kristensen et al., 2014).

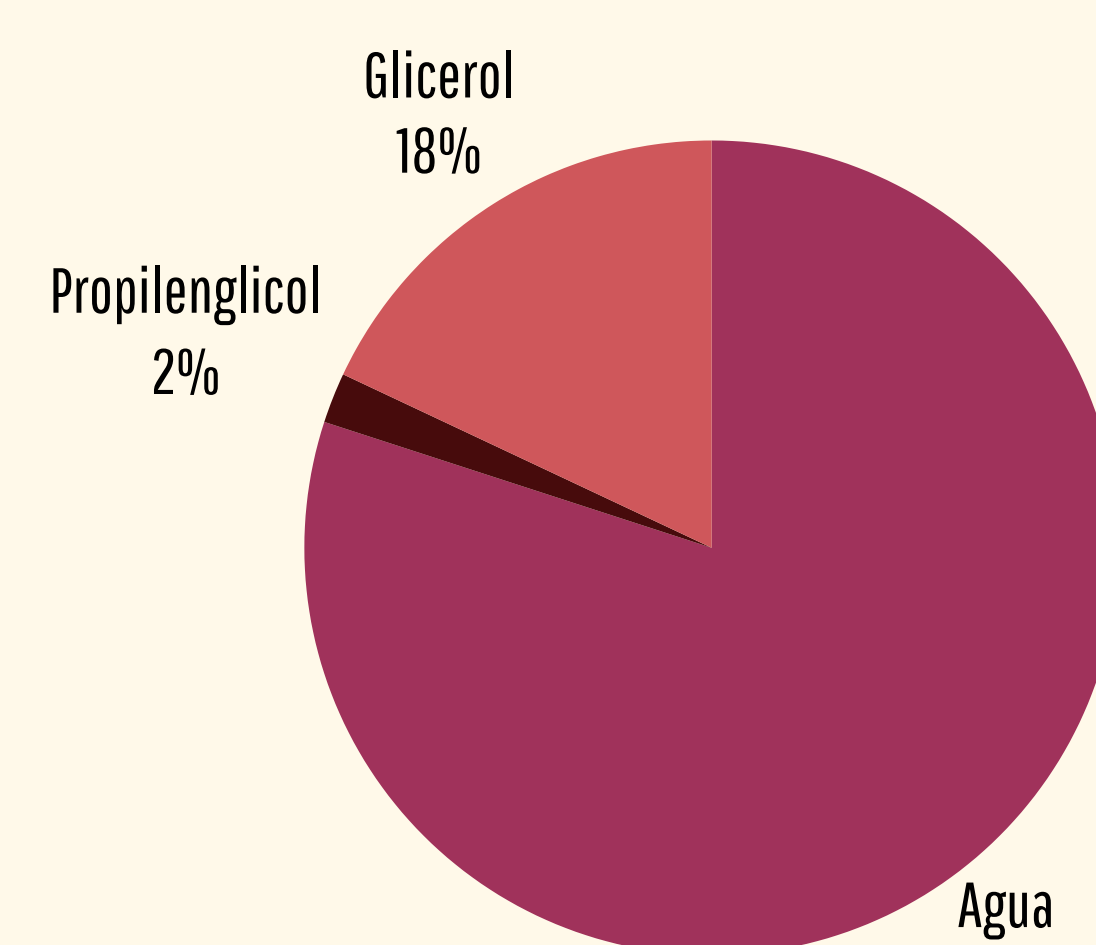
La correcta ejecución del cateterismo endovascular requiere una comprensión profunda de las propiedades hemodinámicas. Para asegurar la seguridad y eficacia del procedimiento, es esencial que los internos de radiología dominen esta técnica desde su formación, practicando en entornos clínicos simulados con condiciones hemodinámicas reales (Laerdal Medical, 2022).

La falta de simuladores de flujo realistas contribuye a una curva de aprendizaje prolongada, aumentando riesgos y disminuyendo la eficiencia en la formación médica (Laerdal Medical, 2022). Las alternativas actuales pueden carecer de realismo o implicar un costo significativo, oscilando entre \$21,000 MXN y \$47,000 MXN (LifeForm, 2023; Erler-Zimmer, 2023), excluyendo los insumos requeridos. Por ejemplo, la sangre simulada puede costar alrededor de \$780 MXN por únicamente 473 ml (Simulab, 2023).

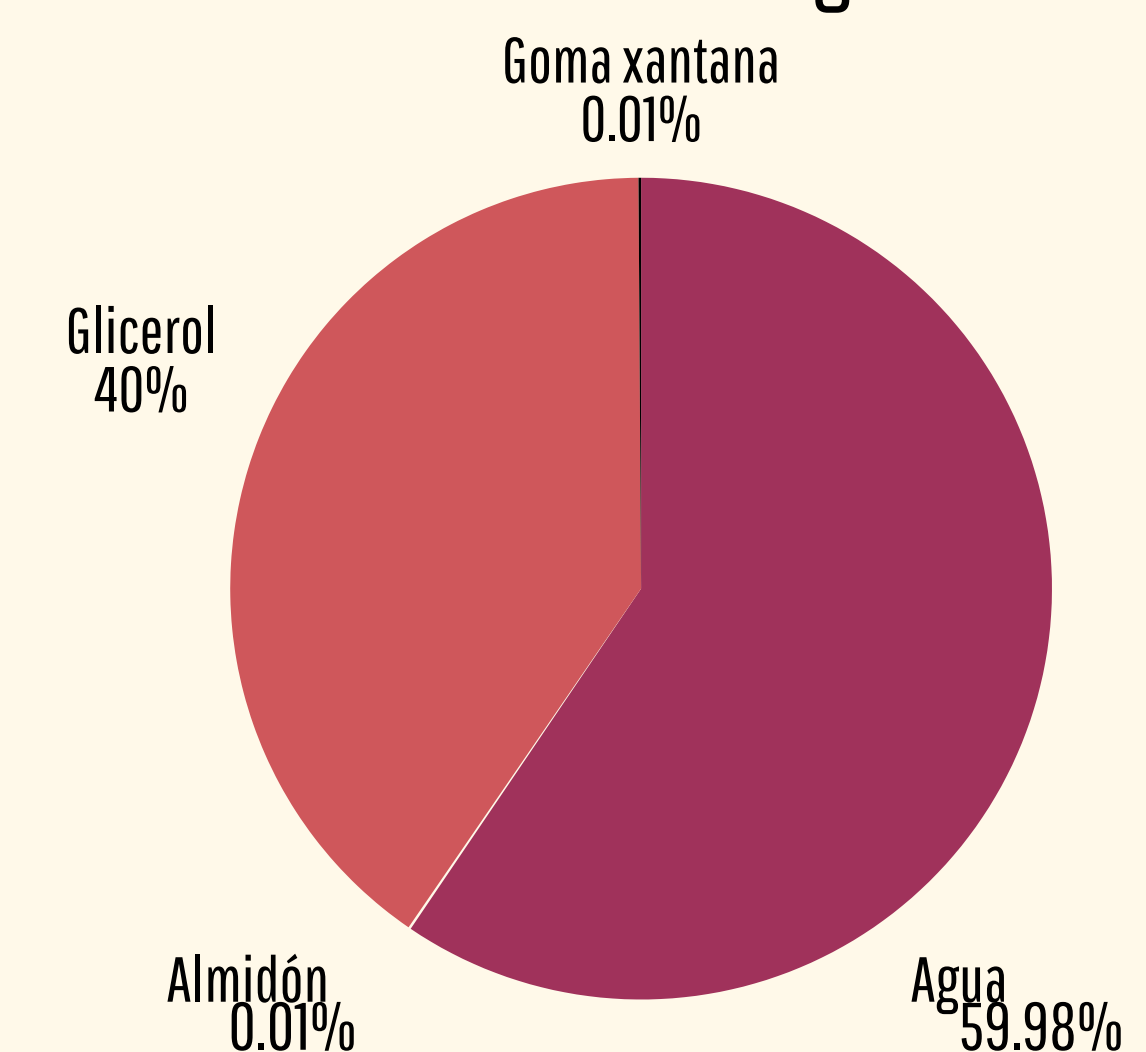
## METODOLOGÍA

### 1 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Muestra a base de propilenglicol



Muestra a base de goma xantana



### 2 PRUEBAS DE VISCOSIDAD

Se medirá con el Reómetro TA Instruments modelo AR 2000, de la Unidad de Materiales del Centro de Investigación Científica de Yucatán

### 3 CÁLCULO DE LA DENSIDAD

$\rho$  muestra = Densidad de la muestra  
mp = Masa de picnómetro  
m1 = Masa de picnómetro con la muestra  
m2 = Masa de picnómetro con agua destilada  
 $\rho$  agua = Densidad del agua destilada a la temperatura tomada

$$\rho_{\text{muestra}} = \frac{(m1 - mp)}{(m2 - mp)} (\rho_{\text{agua}})$$

### 4 VALIDACIÓN DEL COMPORTAMIENTO

Se realizarán pruebas prácticas en colaboración con un simulador de cateterismo, permitiendo evaluar la respuesta del fluido en un entorno clínico, proporcionando una validación práctica de su eficacia en la reproducción de condiciones hemodinámicas realistas.