ISSN (electrónico): 1695-2987 - ISSN (papel): 0003-3170

Angiología

Nota Técnica

Modelo de simulación en cirugía vascular abierta realista y de bajo coste

Low-cost and realistic vascular surgery simulation model

Ignacio Moreno[1], Álvaro José Morales Palma[2], Alejandro Campos Gutiérrez[2], José Matías Robles Maldonado[2], Juan Pablo Moreno Pérez[2]

[1]Instituto de Ciencias Biomédicas. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Autónoma de Chile. Santiago, Chile. [2]Departamento de Cirugía. Hospital Clínico de la Universidad de Chile. Universidad de Chile. Santiago, Chile

Resumen

La simulación es cada vez más relevante para la formación quirúrgica y ha demostrado una mejora en el aprendizaje de muchas habilidades quirúrgicas. Los modelos abiertos de simulación de cirugía vascular para la enseñanza no son fáciles de conseguir en Chile. El objetivo de nuestro trabajo fue crear un simulador realista, de bajo coste y fácil de construir para el entrenamiento de procedimientos arteriales abiertos. El modelo consiste en una plataforma con tejidos y vasos animales criopreservados conectados a tubos y a una bomba que permite el flujo de un líquido similar a la sangre a través de ellos, con los que puede enseñarse y simularse un procedimiento arterial. Nuestro simulador muestra características realistas que lo hacen adecuado para la enseñanza de técnicas vasculares abiertas y puede construirse en casi cualquier ciudad a un bajo coste. Serán necesarios más estudios que involucren a los residentes para evaluar el efecto en el proceso de aprendizaje.

Palabras clave:
Simulador de cirugía vascular. Educación en cirugía vascular. Simulación de alta fidelidad.

Abstract

Simulation is increasingly relevant for surgical training and has been shown to improve the learning of many surgical skills. Open vascular surgery simulation models for teaching are not easily available in Chile. The objective of our work was to create a realistic, low-cost, and easy-to-build simulator for training open arterial procedures. The model consists of a platform with cryopreserved animal tissues and vessels, connected to tubes and a pump that allows the flow of a blood-like fluid through them, allowing teaching and training an arterial procedure. Our simulator displays realistic features that make it suitable for teaching open vascular techniques, and it can be built in almost any city with low-cost materials. Further studies are needed to evaluate the effect on the learning process.

Keywords:
Vascular surgery simulator. Vascular surgery education. High-fidelity simulation.

Recibido: 13/05/2025 • Aceptado: 08/09/2025

Agradecimientos: agradecemos a CAMER y Medtronic Chile por facilitarnos prótesis para el entrenamiento.

Conflictos de interés: los autores declaran no tener conflictos de interés.

Inteligencia artificial: los autores declaran no haber usado inteligencia artificial (IA) ni ninguna herramienta que use IA para la redacción del artículo.

Moreno I, Morales Palma AJ, Campos Gutiérrez A, Robles Maldonado JM, Moreno Pérez JP. Modelo de simulación en cirugía vascular abierta realista y de bajo coste. Angiología 2025;77(5):294-299

DOI: http://dx.doi.org/10.20960/angiologia.00769

Correspondencia:
Juan Pablo Moreno Pérez. Departamento de Cirugía. Hospital Clínico de la Universidad de Chile. C/ Dr. Carlos Lorca Tobar, 999. 8380453 Independencia. Región Metropolitana, Chile
e-mail: jpmoreno@uchile.cl

©Copyright 2025 SEACV y ©Arán Ediciones S.L. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

INTRODUCCIÓN

Cada paciente, en cualquier lugar, merece excelencia quirúrgica y esta comienza con la mejor formación posible de los cirujanos. Es un requisito ético que el cirujano responsable del tratamiento de las enfermedades y de los traumatismos vasculares tenga la competencia suficiente para realizar una reparación arterial, una trombectomía o una anastomosis vascular. Sin embargo, ese es un camino difícil en Estados Unidos y Europa, y es más difícil en América Latina.

La simulación quirúrgica aborda algunas de las limitaciones actuales de la formación (1), ofreciendo la oportunidad de adquirir algunas de esas habilidades mediante ensayos repetitivos, lo que permite cometer errores sin consecuencias negativas para los pacientes reales (2), y ha demostrado mejorar las habilidades quirúrgicas en la cirugía vascular abierta (3).

Existen varios modelos de simulación y programas de entrenamiento (4,5), la mayoría de ellos no accesibles para residentes de cirugía o cirujanos generales chilenos.

Nuestro objetivo fue desarrollar un modelo realista y de bajo coste para enseñar procedimientos vasculares, que puede hacerse en casi cualquier ciudad de nuestro país con componentes fáciles de encontrar.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la tabla I se describe una lista con los materiales utilizados en la construcción del modelo y la figura 1A presenta un esquema de cómo se realiza el ensamblaje del modelo. *Grosso modo,* consiste en una bomba de agua eléctrica que se conecta a una serie de tuberías de silicona y se instala en la parte inferior de un recipiente. Para simular la sangre se utiliza una solución de tiocianato de hierro (Fe[SCN]3) al 1 % por su densidad y color similares a la sangre. Esta solución se vierte en el recipiente conectado a la bomba. De esta manera, la bomba permite la recirculación de la sangre, lo que genera un flujo constante a través de las tuberías. En la figura 1B puede apreciarse el sistema ensamblado (véase vídeo).

Tabla I. Lista de materiales utilizados en la construcción del modelo para entrenamiento quirúrgico en anastomosis vascular

Componente	Detalles	Proveedor
Estructura	– Mueble de madera – Fregadero	– Mobikit – Fusiplas
Bomba	– Bomba de fuente de mesa de 70 W con flujo de 50 L/h	– Rayun
Recipiente para líquidos	– Balde de 4 litros	– Plastipak
Tuberías pequeñas para *outflow*	– *Manifold full flow* de 4 puertos – Manguera para riego por goteo de PVC de 4 mm	– Orbit – Orbit
Tuberías para *inflow* y para input aórtico	– Manguera de nivelación de 12 mm × 10 cm – Terminal HI de media pulgada – Conexiones de media pulgada	– Hoffens – Vinilit – Vinilit
Soporte y vasos sanguíneos	– Aorta, vasos ilíacos y carótidas de origen bovino – Carne de cerdo	– Residuos biológicos donados por carnicerías locales autorizadas
Solución similar a sangre	– Fe(SCN)3 al 1 %	– Merck
Prótesis vasculares	– FlowNit Bioseal de Artivion© (poliéster) recta de 8 mm por 40 cm de largo. – FlowNit Bioseal de Artivion© (poliéster) bifurcada de 20 × 10 mm de 45 cm de largo.	– Jotec

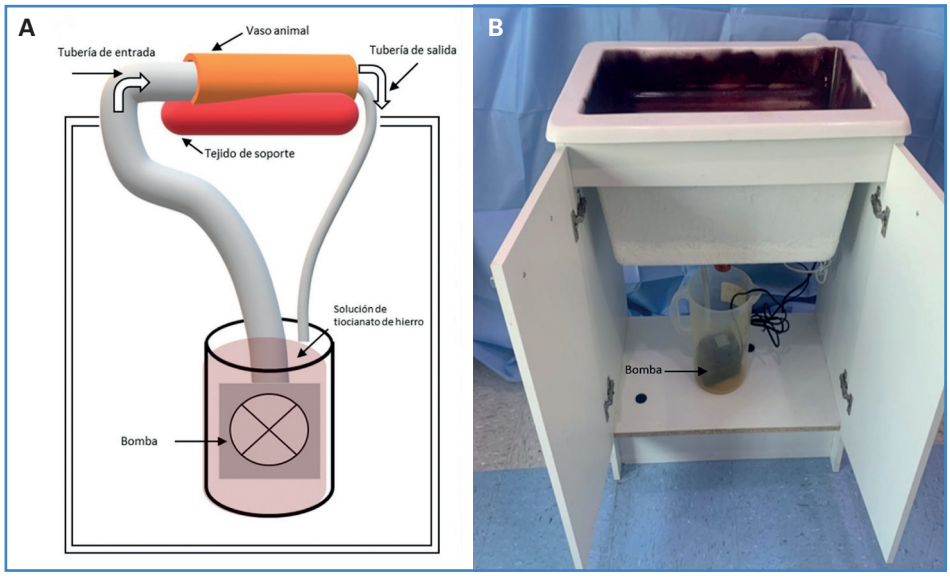

Figura 1. *Esquema y montaje del modelo de simulación. A. Esquema del sistema de simulación. B. Sistema de simulación montado. El recipiente de la bomba se encuentra debajo del fregadero.*

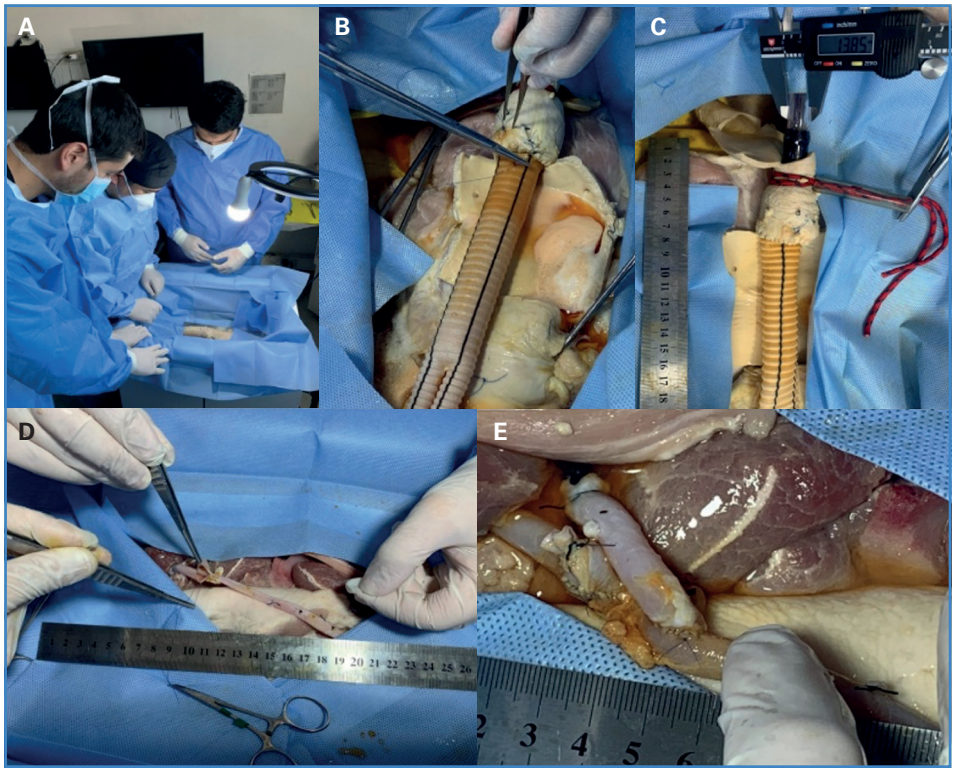

Figura 2. *Curso de simulación impartido a residentes de cirugía general. A. Residentes en un escenario simulado para un procedimiento aórtico con aorta bovina lista para la simulación. B. Anastomosis de aorta a injerto de poliéster de 20 mm. C. Acoplamiento entre el tubo de entrada y la aorta bovina. D y E. Escenario simulado de un procedimiento en vasos femorales (anastomosis término-lateral).*

Sobre el recipiente se instala un soporte hecho con trozos de carne y sobre este, los vasos sanguíneos de práctica, que según su tamaño se conectan a distintas tuberías de salida y entrada. Para montar la aorta se conecta a una salida de tubo grueso, y para montar vasos medianos estos se conectan a tuberías delgadas. Todos los residuos biológicos se obtienen de carnicerías autorizadas y pueden eliminarse como residuos domiciliarios. El tiocianato de hierro se recicla para volver a utilizarlo ensayo tras ensayo. En la figura 2 podemos observar una sesión de simulación que permite la libre interacción y realimentación entre pares y el docente en un estilo "manos a la obra", con la tranquilidad de poder realizar preguntas y corregir la técnica quirúrgica en un espacio protegido sin poner en riesgo a los pacientes.

DISCUSIÓN

Los movimientos suaves y la manipulación de tejidos delicados con instrumentos finos son habilidades básicas que todo cirujano que realiza procedimientos vasculares debe tener. El paciente corre peligro si falla, pero en una emergencia que depende del tiempo de reacción no siempre se logra contar con cirujanos vasculares para asistir en el procedimiento y el cirujano general de guardia debe responder.

Es un hecho demostrado que la inclusión de un programa de formación en cirugía vascular en un centro donde también se forman cirujanos generales produce una disminución de la exposición y de la realización de casos de cirugía vascular por residentes de cirugía general (6-8). Sumado a esto, el auge de los procedimientos endovasculares ha contribuido a disminuir la exposición a la cirugía vascular abierta tanto aórtica como cerebrovascular y de extremidades inferiores (9-11). Más preocupante aún es el hecho de que se ha visto una disminución de la competencia y de la autonomía en procedimientos esenciales de cirugía vascular en los residentes de cirugía general (12).

Es en este escenario en el que la simulación quirúrgica puede ofrecer grandes ventajas para mejorar las habilidades de los residentes, por lo que cada vez se utiliza más en países desarrollados. Según una encuesta, el 71 % de los encuestados tuvo programas de simulación vascular en su formación, principalmente para enseñar técnicas de anastomosis y en reparación aneurisma aórtica abierta. Estos programas han demostrado mejorar las habilidades técnicas, sobre todo de residentes poco experimentados (3,13). Sumado a la habilidad técnica, esta simulación aumenta la confianza para la realización de procedimientos vasculares abiertos (3,14).

El modelo de simulación más básico y extendido en cirugía vascular es el de la realización de anastomosis con prótesis vasculares no usadas. Esta modalidad se utiliza de manera informal y como parte de programas (15). Existen modelos de diversa sofisticación y costo (1,16) con vasos biológicos o sintéticos, incluso con tejido vegetal (17).

La escasez de recursos para la educación y la docencia en nuestro medio no nos permitía importar un modelo de simulación extranjero, por lo que se desarrolló un modelo artesanal con los recursos disponibles. Nuestro modelo es menos costoso que otros debido a su diseño simple: la mayoría de los elementos que se utilizan están disponibles en tiendas minoristas (13). Los vasos sanguíneos animales fueron el elemento más difícil de encontrar y fueron donados por una empresa procesadora de alimentos. Creemos que estas características lo hacen reproducible en casi cualquier ciudad.

Algunos autores consideran que los modelos de alta fidelidad son caros y no siempre necesarios (13), pero nosotros intentamos dar una experiencia lo más cercana posible a la realidad. Estábamos interesados en trabajar en vasos, no en una región anatómica específica, por lo que nos centramos en desarrollar un escenario arterial utilizando vasos y tejido animal como apoyo, flujo constante de líquido similar a la sangre y paños quirúrgicos. Los procedimientos que se enseñaron con este modelo fueron la reparación arterial con parche y la anastomosis vascular con vena o prótesis.

Un aspecto destacable de nuestro modelo es la presencia de flujo, lo que no siempre se considera a la hora de la construcción de un modelo. La evaluación instantánea de la impermeabilidad de la sutura y de un adecuado lumen que permita un flujo sin resistencia proporciona retroalimentación en tiempo real y la oportunidad de aprender a resolver problemas que pueden aparecer durante una operación en un ambiente controlado (16).

La presencia de un flujo acerca a los aprendices a la experiencia de la pérdida de sangre y los presiona para mantener el campo limpio y lograr el control a través de maniobras similares a las que realizarían en un paciente real, como mejorar el control vascular con *clamps* o realizar hemostasia con suturas. El realismo dota al modelo de un elemento lúdico que anima a profesores y alumnos a perseverar y a disfrutar de la formación.

Otra ventaja no vista en otros modelos es la recirculación del líquido, lo que permite una mejor higiene en el laboratorio, evitando el derrame de la solución sanguínea y manteniendo limpio el campo quirúrgico sin uso excesivo de esponjas (18).

Nuestro modelo permite al alumno palpar una arteria, manipularla y verla sangrar, pero no puede entrenar la disección quirúrgica de una región anatómica específica, lo que es una limitación que un programa de entrenamiento integral debe abordar, complementado con el trabajo en un cadáver y con la práctica clínica.

Actualmente, estamos realizando experiencias pilotos en nuestro modelo, afinando un protocolo para enseñar y evaluar el rendimiento de la anastomosis vascular (Fig. 2), que claramente puede realizarse en nuestro simulador, así como la reparación arterial en parche o la instalación de *shunts* temporales. Los resultados de estas experiencias serán materia de futuras publicaciones para establecer un número de horas óptimas de entrenamiento para adquirir la habilidad. Además, la culminación del proyecto será poder evaluar la transferibilidad de estas habilidades a un paciente real y poder medir así el efecto auténtico en pacientes de este entrenamiento simulado.

CONCLUSIÓN

La simulación quirúrgica se posiciona como un recurso fundamental para la adquisición de habilidades en procedimientos vasculares abiertos. Con un presupuesto reducido, construimos con éxito un simulador realista y de diseño simple para capacitar a residentes y cirujanos generales en procedimientos vasculares. Se necesita la cooperación de la industria de insumos médicos y de procesamiento de animales para reducir los costos, lo que es un problema en países de bajos ingresos, como en América Latina, donde los fondos destinados a innovaciones educativas son escasos. Esperamos que nuestra experiencia pueda ser fácilmente replicada en otros países del mundo.

Modelo de simulación vascular abierta realista y de bajo costo

https://vimeo.com/1131601240?share=copy&fl=sv&fe=ci

BIBLIOGRAFÍA

1. Eckstein H-H, Schmidli J, Schumacher H, Gürke L, Klemm K, Duschek N, et al. Rationale, scope, and 20-year experience of vascular surgical training with lifelike pulsatile flow models. J Vasc Surg 2013;57(5):1422-8. DOI: 10.1016/j.jvs.2012.11.113
2. Bismuth J, Donovan MA, O'Malley MK, El Sayed HF, Naoum JJ, Peden EK, et al. Incorporating simulation in vascular surgery education. J Vasc Surg 2010;52(4):1072-80. DOI: 10.1016/j.jvs.2010.05.093
3. Falconer R, Semple CM, Walker KG, Cleland J, Watson AJM. Simulation for technical skill acquisition in open vascular surgery. J Vasc Surg 2021;73(5):1821-7.e2. DOI: 10.1016/j.jvs.2020.09.042
4. Davies J, Khatib M, Bello F. Open surgical simulation-a review. J Surg Educ 2013;70(5):618-27. DOI: 10.1016/j.jsurg.2013.04.007
5. Sheahan MG, Duran C, Bismuth J. National Simulation-Based Training of Fellows: The Vascular Surgery Example. Surg Clin North Am 2015;95(4):781-90. DOI: 10.1016/j.suc.2015.04.008
6. Shannon AH, Robinson WP, Hanks JB, Potts JR. Impact of New Vascular Fellowship Programs on Vascular Surgery Operative Volume of Residents in Associated General Surgery Programs. J Am Coll Surg 2019;228(4):525-32. DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2018.12.010
7. Joels CS, Langan EM, Cull DL, Kalbaugh CA, Taylor SM. Effects of increased vascular surgical specialization on general surgery trainees, practicing surgeons, and the provision of vascular surgical care. J Am Coll Surg 2009;208(5):692-7, quiz 697.e1; discussion reply 697-9. DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2008.12.029
8. Potts JR, Valentine RJ. Declining Resident Experience in Open Vascular Operations Threatens the Status of Vascular Surgery as an Essential Content Area of General Surgery Training. Ann Surg 2018;268(4):665-73. DOI: 10.1097/SLA.0000000000002951
9. Grabo DJ, DiMuzio PJ, Kairys JC, McIlhenny SE, Crawford AG, Yeo CJ. Have endovascular procedures negatively impacted general surgery training? Ann Surg 2007;246(3):472-7; discussion 477-480. DOI: 10.1097/SLA.0b013e3181485652
10. Lin PH, Bush RL, Milas M, Terramani TT, Dodson TF, Chen C, et al. Impact of an endovascular program on the operative experience of abdominal aortic aneurysm in vascular fellowship and general surgery residency. Am J Surg 2003;186(2):189-93. DOI: 10.1016/s0002-9610(03)00180-6
11. Arko FR, Lee WA, Hill BB, Olcott C, Harris EJ, Dalman RL, et al. Impact of endovascular repair on open aortic aneurysm surgical training. J Vasc Surg 2001;34(5):885-91. DOI: 10.1067/mva.2001.118816
12. Carter TM, Weaver ML, Sun T, Smith B. General Surgery Residents Competence and Autonomy in Core Vascular Surgery Procedures. J Surg Educ 2025;82(3):103415. DOI: 10.1016/j.jsurg.2024.103415
13. Lawaetz J, Skovbo Kristensen JS, Nayahangan LJ, Van Herzeele I, Konge L, Eiberg JP. Simulation Based Training and Assessment in Open Vascular Surgery: A Systematic Review. Eur J Vasc Endovasc Surg Off J Eur Soc Vasc Surg 2021;61(3):502-9. DOI: 10.1016/j.ejvs.2020.11.003

14. Pantoja JL, Archie MM, Baril DT, Moore WS, Lawrence PF. Trainee Experience in Simulation-Based Education of Open Vascular Surgery. Ann Vasc Surg 2021;73:147-54. DOI: 10.1016/j.avsg.2020.11.026
15. Robinson WP, Schanzer A. Cutler BS, Baril DT, Larkin AC, Eslami MH, et al. A randomized comparison of a 3-week and 6-week vascular surgery simulation course on junior surgical residents' performance of an end-to-side anastomosis. J Vasc Surg 2012;56(6):1771-80; discussion 1780-1781. DOI: 10.1016/j.jvs.2012.06.105
16. Heelan Gladden AA, Conzen KD, Benge MJ, Gralla J, Kennealey PT. A Vascular Anastomosis Simulation Can Provide a Safe and Effective Environment for Resident Skills Development. J Surg Educ 2018;75(5):1367-73. DOI: 10.1016/j.jsurg.2018.03.005
17. Grahem HD, Teixeira RKC, Feijó DH, Yamaki VN, Valente AL, Feitosa DJS, et al. Treinamento de anastomoses vasculares de baixo custo: o cirurgião vai à feira. J Vasc Bras 2017;16(3):262-6. DOI: 10.1590/1677-5449.000817
18. Bartline PB, O'Shea J, McGreevy JM, Mueller MT. A novel perfused porcine simulator for teaching aortic anastomosis increases resident interest in vascular surgery. J Vasc Surg 2017;66(2):642-8.e4. DOI: 10.1016/j.jvs.2017.01.049