Rev Colomb Cir. 2026;41:1116-24
https://doi.org/10.30944/20117582.3295

ÉTICA Y EDUCACIÓN

Democratizando la simulación quirúrgica: Desarrollo de un *phantom* para práctica de procedimientos ecoguiados de bajo costo en residencia quirúrgica

Democratizing surgical simulation: Development of a low-cost phantom for practicing ultrasound-guided procedures in surgical residency

Rafael Arraut-Gámez, MD[1], Camilo García-Espada, MD[2],
Sebastián Estrada-Londoño, MD[2], Camila Bermeo-Botero, MD[2],
Kaory Margarita Zuñiga-Escorce, MD[3]

1 Programa de subespecialización en Cirugía de Trauma y Emergencia, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
2 Programa de especialización en Cirugía General, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
3 Programa de especialización en Cirugía General, Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, Colombia.

Resumen

Introducción. La simulación médica se ha consolidado como una estrategia fundamental para el entrenamiento en procedimientos invasivos. No obstante, el alto costo de los simuladores comerciales limita su implementación en programas de formación quirúrgica, especialmente en países de ingresos medios/bajos. El objetivo de este estudio fue desarrollar y evaluar un *phantom* ecográfico de bajo costo para el entrenamiento en procedimientos ecoguiados en residentes de cirugía general y *fellows* de cirugía de trauma y emergencia.

Métodos. Se diseñó un modelo experimental de simulación utilizando materiales de bajo costo y fácil disponibilidad comercial. El *phantom* fue elaborado mediante una mezcla compuesta por 200 mililitros de glicerina, 150 de gelatina sin sabor, 35 de talco y colorantes artificiales, contenidos en un recipiente de vidrio. El modelo fue utilizado durante sesiones de entrenamiento en procedimientos ecoguiados dentro del escenario de simulación ecográfica. Se evaluaron variables de factibilidad de construcción, calidad de imagen ecográfica y utilidad educativa percibida por los participantes.

Resultados. El modelo permitió una adecuada visualización ecográfica de las trayectorias de aguja y de las estructuras simuladas. Los participantes reportaron adecuada reproducibilidad del modelo y alta utilidad para el entrenamiento inicial. El costo total de fabricación fue aproximadamente de $60.000 COP para dos unidades, considerablemente inferior al costo promedio de simuladores comerciales comparables.

Fecha de recibido: 11/04/2026 - Fecha de aceptación: 27/07/2026 - Publicación en línea: 19/10/2026
Correspondencia: Camilo García-Espada, Calle 5 # 36-08, Santiago de Cali, Colombia. Teléfono: +57 3176811059.
Dirección electrónica: camilogarciaespada@gmail.com
Citar como: Arraut-Gámez R, García-Espada C, Estrada-Londoño S, Bermeo-Botero C, Zuñiga-Escorce KM. Democratizando la simulación quirúrgica: Desarrollo de un *phantom* para práctica de procedimientos ecoguiados de bajo costo en residencia quirúrgica. Rev Colomb Cir. 2026;41:1116-24. https://doi.org/10.30944/20117582.3295

Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia Creative Commons - BY-NC-ND https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es

Conclusiones. El desarrollo de modelos de simulación ecográfica de bajo costo constituye una estrategia viable para ampliar el acceso al entrenamiento procedimental en programas de formación quirúrgica, favoreciendo la adquisición temprana de habilidades técnicas en procedimientos guiados por ultrasonido.

Palabras clave: educación de postgrado en medicina; entrenamiento simulado; tecnología educacional; aprendizaje; ultrasonografía.

Abstract

Introduction. Medical simulation has established itself as a fundamental strategy for training in invasive procedures. However, the high cost of commercial simulators limits their implementation in surgical training programs, particularly in low- and middle-income countries. The aim of this study was to develop and evaluate a low-cost ultrasound phantom for training general surgery residents and trauma and emergency surgery fellows in ultrasound-guided procedures.

Methods. An experimental simulation model was designed using low-cost, readily available commercial materials. The phantom was created using a mixture of 200 milliliters of glycerin, 150 grams of unflavored gelatin, 35 grams of talc, and artificial coloring, all contained within a glass vessel. The model was used during training sessions for ultrasound-guided procedures within an ultrasound simulation setting. Variables regarding construction feasibility, ultrasound image quality, and educational utility as perceived by the participants were evaluated.

Results. The model allowed for adequate ultrasound visualization of needle trajectories and simulated structures. Participants reported good model reproducibility and high utility for initial training. The total manufacturing cost was approximately 60,000 COP for two units, considerably lower than the average cost of comparable commercial simulators.

Conclusions. The development of low-cost ultrasound simulation models represents a viable strategy for expanding access to procedural training in surgical education programs, facilitating the early acquisition of technical skills in ultrasound-guided procedures.

Keywords: post-graduate medical education; simulation training; educational technology; learning; ultrasonography.

Introducción

La formación en procedimientos invasivos constituye un componente esencial del entrenamiento quirúrgico. Tradicionalmente, la adquisición de estas habilidades ha dependido de la exposición progresiva a escenarios clínicos reales bajo supervisión directa. Sin embargo, este modelo ha sido objeto de cuestionamiento en los últimos años, principalmente por consideraciones relacionadas con la seguridad del paciente y la necesidad de garantizar un nivel mínimo de competencia técnica antes del contacto clínico inicial [1,2].

En este contexto, la simulación médica ha adquirido un papel central como herramienta pedagógica, al permitir el desarrollo de habilidades técnicas y psicomotoras en entornos controlados y seguros [1,3]. De manera particular, el entrenamiento en procedimientos guiados por ultrasonido ha experimentado un crecimiento significativo, dada su amplia aplicación en cirugía general, medicina de emergencia, anestesiología y cuidado crítico [3,4].

A pesar de sus ventajas, la implementación de programas de simulación se ve limitada por factores económicos. Los simuladores comerciales diseñados para entrenamiento ecoguiado tienen costos elevados, lo que restringe su acceso en múltiples instituciones, particularmente en países de ingresos medios y bajos [5]. Ante esta limitación, se han desarrollado modelos de simulación de bajo costo utilizando materiales de fácil acceso, como gelatina o agar, que han

demostrado ser útiles para el entrenamiento en procedimientos ecoguiados [6]. Estos modelos permiten reproducir condiciones básicas de la práctica clínica, favoreciendo la repetición y el aprendizaje progresivo.

El dominio de estas técnicas implica la integración de habilidades complejas, entre ellas la interpretación dinámica de imágenes, la coordinación visomotora y el control preciso de la trayectoria de la aguja. La evidencia disponible sugiere que la práctica en modelos de simulación se asocia con una mejoría en el desempeño clínico posterior, incrementando la tasa de éxito y reduciendo complicaciones [7,8]. En este contexto, el objetivo de este estudio fue describir el desarrollo y la implementación de un *phantom* ecográfico de bajo costo para el entrenamiento en procedimientos de residentes de cirugía general y *fellows* de trauma y emergencia de la Universidad del Valle, en Cali, Colombia.

Métodos

Diseño del modelo

Se desarrolló un modelo experimental de simulación tipo *phantom*, orientado al entrenamiento en procedimientos ecoguiados. El diseño del modelo buscó facilitar la visualización ecográfica de estructuras simuladas y permitir la práctica repetida de punciones en condiciones controladas.

Materiales

El phantom fue elaborado utilizando los siguientes materiales de bajo costo y fácil disponibilidad:

- 200 mililitros de glicerina
- 150 gramos de gelatina sin sabor
- 35 gramos de talco
- Colorantes artificiales
- Globos delgados
- Recipiente de vidrio / plástico

Los componentes fueron mezclados bajo calentamiento hasta obtener una solución homogénea. Posteriormente, la mezcla se vertió en el recipiente y se dejó solidificar mediante refrigeración hasta alcanzar una consistencia adecuada para la práctica.

Elaboración del modelo

1 Diluir anilina de color rojo en agua. Utilizando una jeringa de 10 ml se rellena el globo y se anuda una vez esté lleno. Separar y dejar a un lado. Por *phantom* se recomiendan máximo 4 globos (Figura 1).

2 Mezclar 35 gramos de talco con 125 ml de agua caliente, agregando el agua de a poco mientras mezcla, hasta incorporar todo y lograr una consistencia espesa.

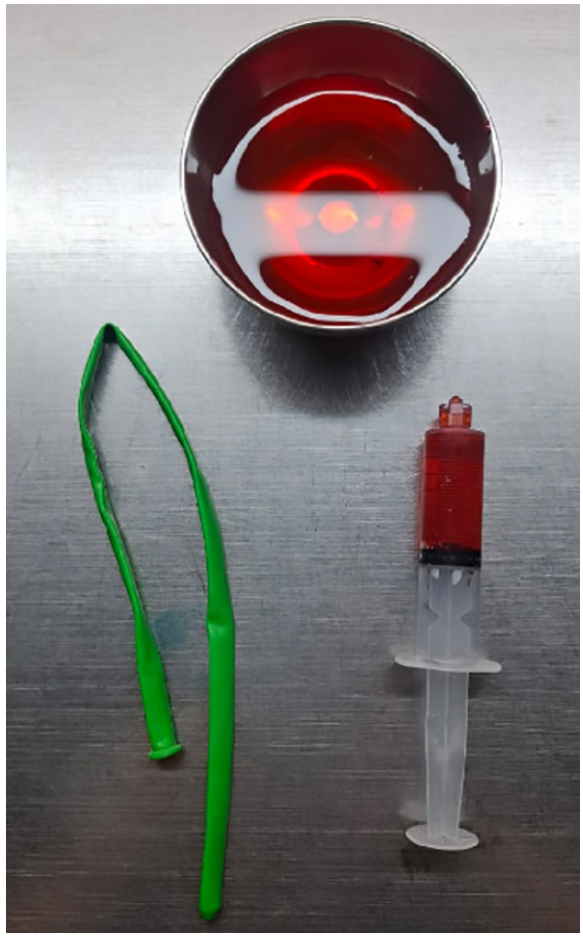


Figura 1. Imagen que ilustra el paso 1 de la elaboración del *Phantom*.

Fuente: Fotografía aportada por los autores.

3 En otro recipiente, incorporar 150 gramos de gelatina sin sabor, a la cual debe agregarse de a poco 750 ml de agua caliente, mientras mezcla hasta dejar sin grumos la mezcla. Si se desea, se puede pasar por un colador (Figura 2).

4 Una vez logradas ambas mezclas sin grumos, se adiciona la mezcla de talco a la de gelatina sin sabor, revolviendo hasta no tener grumos. Finalmente, se incorpora de a poco 200 ml de glicerina.

5 Una vez realizada la mezcla, se separa en tres partes iguales. Es opcional agregar a cada una anilina del color de su preferencia.

6 Impregnar con un poco de aceite corporal al recipiente; si se utiliza un recipiente de vidrio, posteriormente se debe introducir al congelador por 10 minutos. Revisar que la mezcla no se adhiera al dedo. Dejar en refrigeración (no en el congelador) el *phantom* por 12 horas.

7 Retirar del congelador y agregar dos de las bombas que se prepararon con anilina. Una vez acomodadas en la posición deseada, agregar otra de las partes separadas de la mezcla inicial y llevar al congelador por 10 minutos (Figura 3).

8 Retirar del congelador y agregar otras dos bombas. Una vez acomodadas en la posición deseada, agregar la última parte de la mezcla separada. Dejar en refrigeración (no en el congelador) el *phantom* por 12 horas.



Figura 2. Imagen que ilustra el paso 3 de la elaboración del *Phantom*.
Fuente: Fotografía aportada por los autores.



Figura 3. Imagen que ilustra el paso 7 de la elaboración del *phantom*.
Fuente: Fotografía aportada por los autores.

Costos

El costo total de fabricación fue de aproximadamente $60.000 pesos colombianos (COP) para dos unidades. En contraste, el valor promedio de un simulador comercial equivalente se aproxima a 250 dólares estadounidenses, evidenciando una diferencia significativa en términos de accesibilidad.

Resultados

Escenario de implementación

El modelo fue utilizado en el escenario de simulación de ecografía del programa de residencia de cirugía general y del *fellowship* de cirugía de trauma y emergencia de la Universidad del Valle, en Cali, Colombia. Durante las sesiones de entrenamiento, los participantes practicaron:

- Coordinación mano–ojo
- Identificación ecográfica de la aguja (Figura 4)
- Trayectorias de punción (Figura 5)
- Ejecución de procedimientos guiados por ultrasonido tipo punciones los cuales son la base técnica para colocar catéteres venosos centrales para infusión de líquidos, transfusiones, quimioterapia, hemodiálisis.



Figura 4. Imagen que ilustra el uso del *phantom* elaborado para practicar punción en eje largo ecoguiada, donde se observa claramente la punta de la aguja dentro del vaso de simulación.

Fuente: Fotografía aportada por los autores.



Figura 5. Imagen que ilustra el uso del *phantom* elaborado para practicar punción en eje corto, guiada por ecografía, donde se observa claramente la punta de la aguja dentro del vaso de simulación.

Fuente: Fotografía aportada por los autores.

Para el grupo de asistentes a las prácticas con el modelo *phantom* artesanal (una vez por semana por dos meses), en el mes inmediatamente siguiente al entrenamiento simulado se registró en la bitácora de procedimientos un total de 69 inserciones de catéter venoso central, 45 (65,2%) subclavios, 10 (14,5 %) yugulares y 14 (20,3 %) femorales. Entre ellos se documentaron cuatro complicaciones, dos neumotórax (2,9 %) y dos hematomas (2,9 %).

Discusión

Los resultados de este trabajo sugieren que el desarrollo de modelos de simulación de bajo costo puede constituir una alternativa práctica para ampliar el acceso al entrenamiento en procedimientos guiados por ultrasonido [9]. El uso de *phantoms* permite a los aprendices familiarizarse con la anatomía ecográfica y desarrollar habilidades psicomotoras en un entorno seguro, previo a su aplicación en pacientes reales [5,10]. Este aspecto resulta especialmente relevante en etapas tempranas de la formación, donde la repetición y el error controlado son fundamentales para el aprendizaje.

Diversos estudios han demostrado que el entrenamiento basado en simulación se asocia con mejores resultados en la ejecución de procedimientos, así como con una mayor seguridad para el paciente [1,10]. En particular, la práctica repetida contribuye a acortar la curva de aprendizaje y a disminuir la variabilidad entre operadores [7,11]. Además, la simulación ha estado presente como método de educación y práctica continuada durante momentos de contingencia, como la pandemia por COVID-19, periodo en el cual se convirtió en una herramienta fundamental en Colombia para mitigar la disminución de la exposición quirúrgica directa de los residentes. Ante la necesidad de diferir procedimientos electivos y priorizar la atención sanitaria sobre la academia, la simulación y la educación virtual surgieron como las respuestas más eficaces para garantizar la continuidad del aprendizaje técnico, sin comprometer la seguridad del personal en formación [12].

En este sentido, los modelos artesanales representan una opción atractiva y confiable, frente a los simuladores comerciales, especialmente en contextos donde los recursos son limitados. A diferencia de las alternativas comerciales, los *phantoms* de bajo costo pueden ser fácilmente reproducidos dada la amplia disponibilidad de los materiales utilizados, lo que facilita su implementación en distintos escenarios educativos [6,8].

Adicionalmente, este tipo de herramientas puede favorecer la incorporación temprana del entrenamiento ecoguiado dentro de los programas de residencia, fortaleciendo el desarrollo progresivo de habilidades técnicas. Entre los procedimientos de inserción de catéter venoso central registrados en la bitácora, las cuatro complicaciones tienen un porcentaje que está dentro de lo reportado en la literatura, entre el 1 y 6,6% para neumotórax y entre el 1 y 4 % para hematomas [13].

Conclusiones

El desarrollo de un *phantom* ecográfico de bajo costo constituye una alternativa viable y reproducible para el entrenamiento en procedimientos guiados por ultrasonido. La utilización de materiales accesibles permite reducir significativamente los costos asociados a la simulación médica, facilitando su implementación en programas de formación quirúrgica. Este tipo de modelos puede contribuir a mejorar el acceso al entrenamiento procedimental y favorecer la adquisición temprana de habilidades técnicas en residentes de cirugía general y *fellows* de cirugía de trauma y emergencia. En la experiencia particular medida en el grupo que realizó la práctica con los modelos artesanales, se reportó un número importante de procedimientos realizados con un número de complicaciones dentro de lo esperado de acuerdo con lo publicado en la literatura.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Alba Mireya Ballesteros, Laura Alexandra García, y Carlos Iván García, por su asistencia técnica en la elaboración de los modelos *phantom* utilizados en el estudio.

Cumplimiento de normas éticas

Consentimiento informado: De acuerdo con las normas éticas para la investigación en salud, el presente estudio se realizó bajo el cumplimiento de la Resolución 008430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia. Según lo establecido en el Artículo 11 de dicha norma, esta investigación se clasifica como una investigación sin riesgo, dado que se trata de un estudio experimental que emplea modelos inanimados (*phantoms*) y técnicas de simulación, que no involucran la intervención directa, física o psicológica en seres humanos, ni el manejo de datos sensibles de pacientes. Debido a la naturaleza del estudio y a que no se recolectó información de sujetos biológicos, no se requirió la aplicación de consentimiento informado.

Conflictos de interés: Los autores declararon no tener conflictos de interés relacionados con el contenido del presente manuscrito.

Uso de herramientas de Inteligencia Artificial: Durante la elaboración del presente manuscrito se utilizaron tecnologías asistidas por inteligencia artificial como herramientas de apoyo para la búsqueda bibliográfica y la revisión editorial. La identificación y exploración de literatura científica se apoyó en *Research Rabbit* y *Consensus*, utilizadas para facilitar la localización de artículos relevantes y el análisis de redes de citación. La estructuración del enfoque metodológico se ayudó en *NotebookLM*, empleada para organizar la información y apoyar la coherencia metodológica. Adicionalmente, *ChatGPT* (versión 5.2 Plus) fue utilizado como asistente editorial para la revisión de estilo, claridad y coherencia del texto. Todas las decisiones finales sobre contenido, interpretación y conclusiones fueron realizadas y validadas por los autores, quienes asumen plena responsabilidad intelectual del manuscrito.

Fuente de financiación: El desarrollo del proyecto y la elaboración del manuscrito fueron gestionados y financiados con recursos propios de los autores, sin apoyo financiero de entidades públicas o privadas.

Contribución de los autores:

- Diseño y concepción del estudio: Rafael Arraut-Gámez, Camilo García-Espada.
- Adquisición de datos: Kaory Margarita Zúñiga-Escorce, Camila Bermeo-Botero, Sebastián Estrada-Londoño.
- Análisis e interpretación de datos: Camilo García-Espada.
- Redacción del manuscrito: Rafael Arraut-Gámez, Sebastián Estrada-Londoño, Camilo García-Espada.
- Revisión crítica: Kaory Margarita Zuñiga-Escorce, Camila Bermeo-Botero.

Referencias

1 Issenberg SB, McGaghie WC, Hart IR, Mayer JW, Felner JM, Petrusa ER, et al. Simulation technology for health care professional skills training and assessment. JAMA. 1999;282:861-6. https://doi.org/10.1001/jama.282.9.861

2 McGaghie WC, Issenberg SB, Petrusa ER, Scalese RJ. A critical review of simulation-based medical education research: 2003-2009. Med Educ. 2010;44:50-63. https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03547.x

3 Recker F, Neubauer R, Dong Y, Gschmack AM, Jenssen C, Möller K, et al. Exploring the dynamics of ultrasound training in medical education: Current trends, debates, and approaches to didactics and hands-on learning. BMC Med Educ. 2024;24:1311. https://doi.org/10.1186/s12909-024-06092-9

4 Dietrich CF, Hoffmann B, Abramowicz J, Badea R, Braden B, Cantisani V, et al. Medical student ultrasound education: A WFUMB position paper - Part I. Ultrasound Med Biol. 2019;45:271-81. https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2018.09.017

5 Webb L, Masaracchia M, Strupp K. Enhancing access to neuraxial ultrasound phantoms for medical education of pediatric anesthesia trainees: Tutorial. JMIR Med Educ. 2025;11:e63682. https://doi.org/10.2196/63682

6 Huang CT, Lin CH, Lin SY, Huang SS, Lien WC. A feasibility study of a handmade ultrasound-guided phantom for paracentesis. BMC Med Educ. 2024;24:351. https://doi.org/10.1186/s12909-024-05339-9

7 Oh EJ, Lee JH, Kwon EJ, Min JJ. Simulation-based training using a vessel phantom effectively improved first attempt success and dynamic needle-tip positioning ability for ultrasound-guided radial artery cannulation in real patients: An assessor-blinded randomized controlled study. PLoS One. 2020;15:e0234567. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234567

8 Cheng PC, Lo WC, Chang CM, Wen MH, Liao LJ. A Training Course for Simulating Head and Neck Ultrasound-Guided Procedures Using a Gelatin Phantom Model. Ann Otol Rhinol Laryngol. 2024;133:985-92. https://doi.org/10.1177/00034894241262113

9 Cook DA, Hatala R, Brydges R, Zendejas B, Szostek JH, Wang AT, et al. Technology-enhanced simulation for health professions education: A systematic review and meta-analysis. JAMA. 2011;306:978-88. https://doi.org/10.1001/jama.2011.1234

10 Rasmussen NK, Andersen TT, Carlsen J, Østergaard ML, Konge L, Albrecht-Beste E, et al. Simulation-based training of ultrasound-guided procedures in radiology: A systematic review. Ultraschall Med. 2019;40:584-602. https://doi.org/10.1055/a-0896-2714

11 Corvetto M, Bravo MP, Montaña R, Utili F, Escudero E, Boza C, et al. Simulación en educación médica: Una sinopsis. Rev Med Chil. 2013;141:70-9. https://doi.org/10.4067/S0034-98872013000100010

12 Sánchez S, Ariza A. Educación quirúrgica en Colombia en la era del COVID-19. Rev Colomb Cir. 2020;35:250-5. https://doi.org/10.30944/20117582.631

13 Tsotsolis N, Tsirgogianni K, Kioumis I, Pitsiou G, Baka S, Papaiwannou A, et al. Pneumothorax as a complication of central venous catheter insertion. Ann Transl Med. 2015;3:40. https://doi.org/10.3978/j.issn.2305-5839.2015.02.11