

Implementación de un modelo de bajo costo para capacitación sobre accesos vasculares ecoguiados

Ivan Ilescas-Martínez^{a,†,*}, Aaron Tito Santiago-López^{a,b,§}, Leticia Osiris Castro-Reyes^{a,b,◊}, María de Jesús Pinacho-Colmenares^{c,¶}, Quetzalli Navarro-Hernández^{c,◊}, Jesús Yudhers Isario-Martínez^{a,◊}

Facultad de Medicina



Resumen

Introducción: Los procedimientos de acceso vascular constituyen una competencia esencial para los médicos residentes, la inserción ecoguiada es un método eficaz y seguro. Existen numerosos simuladores para la inserción de catéteres venosos centrales, aunque muchos de ellos resultan inaccesibles para instituciones educativas.

Objetivo: Evaluar la implementación de un modelo de bajo costo para la formación en inserción de catéteres venosos centrales.

Método: Se llevó a cabo una intervención educativa cuasi experimental, con médicos residentes del Hospital Regional de Alta Especialidad de Oaxaca.

Resultados: Se capacitó a 33 médicos residentes, de

ellos el 54.5% hombres. El 72.7% estaba familiarizado con la técnica correcta de colocación de accesos vasculares ecoguiados, y el 51.5% se sentía confiado para realizar esta tarea antes de la formación. Posteriormente, el 69.7% consideró que el modelo era análogo a la anatomía humana y el 90.9% informó que el dispositivo ofreció una imagen ecográfica clara de las estructuras. Además, el 81.8% valoró el modelo como adecuado para formar a los residentes en la colocación de accesos vasculares ecoguiados.

El diseño de simuladores accesibles es crucial en países en desarrollo para aumentar la confianza y acelerar la curva de aprendizaje del personal en formación. Los modelos de bajo costo facilitarían la adquisición de ha-

^a Programa Único de Especialidades Médicas, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. Mx., México.

^b Unidad de Cuidados Intensivos, Hospital Regional de Alta Especialidad de Oaxaca, San Bartolo Coyotepec, Oaxaca.

^c Subdirección Enseñanza e Investigación, Hospital Regional de Alta Especialidad de Oaxaca, San Bartolo Coyotepec, Oaxaca.

ORCID ID:

[†] <https://orcid.org/0000-0002-6731-9476>

[§] <https://orcid.org/0000-0002-2031-6550>

[◊] <https://orcid.org/0009-0009-2855-1692>

[¶] <https://orcid.org/0009-0000-6465-9398>

[◊] <https://orcid.org/0000-0002-2121-0440>

[◊] <https://orcid.org/0009-0000-3784-3421>

Recibido: 28-noviembre-2023. Aceptado: 11-abril-2024.

* Autor para correspondencia: Ivan Ilescas Martínez. Hospital Regional de Alta Especialidad de Oaxaca, Aldama S/N, Paraje el Tule, San Bartolo Coyotepec, Oaxaca, C.P. 71256.

Correo electrónico: ilescasivan@gmail.com.

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

bilidades clínicas, lo que redundaría en una mejora de la atención de calidad para los usuarios de servicios de salud.

Conclusiones: Nuestro modelo facilita este aprendizaje sin necesidad de grandes presupuestos ni incremento en el riesgo de complicaciones al realizar este tipo de procedimientos, especialmente para aquellos con escasa o nula experiencia en la colocación de accesos venosos centrales ecoguiados.

Palabras clave: *Accesos venosos centrales; ultrasonido; ecografía en punto de atención; simulación clínica.*

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Implementation of a low-cost model for training on ultrasound-guided vascular access

Abstract

Introduction: Vascular access procedures are an essential competency for medical residents, with ultrasound-guided insertion being an effective and safe method. There are numerous simulators for central venous catheter insertion, although many of them are inaccessible for educational institutions.

Objective: To evaluate the implementation of a low-cost model for training in central venous catheter insertion.

Method: A quasi-experimental educational intervention

was carried out with resident doctors from the Hospital Regional de Alta Especialidad de Oaxaca

Results: 33 medical residents were trained, 54.5% of whom were male. 72.7% were familiar with the correct technique for placing ultrasound-guided vascular accesses, and 51.5% felt confident to perform this task before the training. Subsequently, 69.7% considered that the model was analogous to human anatomy and 90.9% reported that the device provided a clear ultrasound image of the structures. In addition, 81.8% valued the model as suitable for training residents in the placement of ultrasound-guided vascular accesses.

The design of accessible simulators is crucial in developing countries to increase confidence and speed up the learning curve of the staff in training. Low-cost models would facilitate the acquisition of clinical skills, which would result in an improvement in quality care for health service users.

Conclusions: Our model facilitates this learning without the need for large budgets or an increase in the risk of complications when performing this type of procedures, especially for those with little or no experience in the placement of ultrasound-guided central venous accesses.

Keywords: *Central venous Access; ultrasound; point of care ultrasound; clinical simulation.*

This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

INTRODUCCIÓN

La inserción de un catéter venoso central es un procedimiento estándar y, a menudo, necesario en los pacientes en estado crítico, sus indicaciones son múltiples; tales como la administración de nutrición parenteral total, diálisis, plasmaféresis, administración de medicamentos, monitorización hemodinámica o como vía de acceso de otras intervenciones como la colocación de marcapasos transvenosos^{1,2}. Existen diferentes técnicas de inserción de los catéteres venosos centrales, pero podemos dividirlos principalmente en guiados por sitios anatómicos (a

ciegas) y guiados por ecografía^{2,3}, también existen diferentes sitios de inserción de los mismos que por ende requieren técnicas y preparaciones diferentes de acuerdo a ellos⁴.

Los accesos vasculares son considerados a nivel internacional⁵⁻⁹ y nacional^{10,11} una competencia central en los médicos residentes; sin embargo, muchos de ellos reportan incomodidad o desconfianza cuando se realiza este procedimiento sin supervisión, y más aún en la etapa formativa inicial¹²⁻¹⁴.

La inserción de catéteres venosos centrales ecoguiados es seguro y eficiente¹⁵, pero la capacitación

en estos suele ser obstaculizada por algunas situaciones previsibles tales como la falta de visualización prevista, poco control de la punta de la aguja para el posicionamiento adecuado, entre otras más¹⁶⁻¹⁸.

Dávila Cervantes define a la simulación médica como “el área de la salud consiste en situar a un estudiante en un contexto que imite algún aspecto de la realidad y en establecer, en ese ambiente, situaciones o problemas similares a los que deberá enfrentar con individuos sanos o enfermos, de forma independiente, durante las diferentes prácticas clínicas”¹⁹. Otros autores reportan que el uso de la simulación clínica permite el desarrollo de habilidades y destrezas en el personal en formación²⁰.

En los últimos años, la innovación en dispositivos de simulación ha transformado significativamente el campo de la simulación clínica. Esta tecnología, que se alinea con los nuevos paradigmas educativos, encarna las teorías del aprendizaje experiencial, ofreciendo una formación más completa y eficaz. Al fomentar el desarrollo de la psicomotricidad y fortalecer las funciones ejecutivas, estos dispositivos han demostrado ser herramientas valiosas en la educación médica²¹. No obstante, uno de los principales obstáculos es su elevado costo, con precios que pueden alcanzar los 1,500 dólares, dependiendo del modelo y sus funcionalidades²². Esta barrera económica limita la accesibilidad para muchas instituciones encargadas de formar recursos humanos en el sector salud. Además, aunque los modelos de simulación de catéteres ecoguiados presentan avances significativos, aún existen ciertas limitaciones relacionadas con la sensación táctil y las diferencias en la calidad de imagen en comparación con los tejidos humanos. Sin embargo, diversos estudios sugieren que, a pesar de estas deficiencias, estos modelos son efectivos y contribuyen notablemente al mejoramiento de las habilidades de aprendizaje en los residentes médicos^{23,24}.

Se han diseñado diversos modelos para simulación de inserción de catéter venoso central guiado por ultrasonido de bajo costo, las formulaciones y metodología son variadas, y por tanto las imágenes obtenidas varían de modelo a modelo²⁴⁻²⁸.

El colocar accesos vasculares centrales es una acción invasiva y que presenta un alto número de complicaciones, que se ha demostrado reducción de ellas

ante el uso de ultrasonido para guiar su colocación. El adquirir habilidades dentro de la formación médica es un punto esencial para los futuros profesionales de la salud que desempeñan este procedimiento con regularidad. En el Hospital Regional de Alta Especialidad de Oaxaca se colocaron 138 accesos vasculares centrales en el periodo de 2022-2023, y a pesar de que el hospital cuenta con equipo de ultrasonido para colocación de accesos vasculares, no se dispone de información acerca del número total de accesos vasculares colocados ecoguiados; sin embargo, la generalización del uso de apoyo ecoguiado ha ido en incremento en los últimos años.

El propósito principal de este proyecto es investigar la efectividad de un modelo de simulación de bajo costo en la formación de médicos residentes para la inserción de catéteres venosos centrales.

MÉTODO

Se realizó un estudio de intervención educativa cuasi experimental. El estudio se realizó en el Hospital Regional de Alta Especialidad de Oaxaca; incluido al personal inscrito en el Programa Único de Especialidades Médicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, en el mes de mayo de 2023.

Diseño de un modelo de bajo costo

Nuestro modelo de bajo costo se construyó a base de material orgánico, bajo la siguiente formulación. Por cada litro, se requiere:

- a) 500 ml de agua fría.
- b) 100 g de grenetina sin sabor.
- c) 500 ml de agua fría.
- d) 30 g de *Plantago psyllium*.
- e) Globos largos (260), rellenos preferentemente con líquido de color rojo.
- f) Látex líquido.

El proceso de construcción fue el siguiente:

1. Se disuelve la grenetina en agua caliente y se agrega lentamente el agua fría, asegurándose de que se temple adecuadamente para evitar la formación de grumos y burbujas.
2. Posteriormente, se disuelve el *Plantago psyllium* en agua y se agrega a la mezcla anterior, agitan-

dose cuidadosamente para evitar la formación de grumos.

3. La suspensión preparada se vierte en un molde especialmente diseñado para este propósito, que puede ser previamente engrasado con mantequilla preferentemente. Los globos rellenos de líquido se colocan de manera aleatoria y en disposición conveniente para simular el trayecto de un vaso sanguíneo. En esta etapa, se llenará el molde solo hasta la mitad.
4. Una vez solidificada la parte inferior, se procede a rellenar la parte superior del molde y, si es necesario, se pueden colocar más globos para simular vasos más superficiales.
5. El molde se deja reposar aproximadamente 6 horas en refrigeración para alcanzar la consistencia deseada.
6. Finalmente, se aplica látex líquido en tres capas al molde, con la ayuda de una brocha para su conservación.

Intervención educativa

Previo a la capacitación se aplicó un cuestionario para conocer el estado basal en relación a la colocación de accesos vasculares ecoguiados. Se realizó una capacitación teórica que constaba de los siguientes temas:

- a) Anatomía de los accesos vasculares.
- b) Indicaciones y contraindicaciones de la colocación de accesos vasculares centrales.
- c) Técnica ecoguiada de colocación de accesos vasculares centrales.
- d) Complicaciones en la colocación de accesos vasculares ecoguiados.

Previo a la capacitación se aplicó un cuestionario para conocer el estado basal en relación a la colocación de accesos vasculares ecoguiados. Se brindó la capacitación teórica, y se procedió a estaciones de simulación en donde con el modelo diseñado se practicó la colocación de los accesos vasculares por parte de los asistentes a la capacitación divididos en 8 estaciones divididas en 2 para visualización de estructuras vasculares, 2 para punción ecoguiada en eje longitudinal, y 2 de punción ecoguiada en eje transversal, y 2 estaciones para optimizar las barre-

ras de seguridad establecidas para la colocación de accesos vasculares. Todos los asistentes tuvieron la oportunidad de rotar en las diferentes estaciones y de realizar al menos 2 punciones sobre el modelo, en algunos casos fue mayor el número de veces (**figura 1**). Posteriormente se aplicó un cuestionario que evaluó la fidelidad del modelo de simulación, la conveniencia del modelo de simulación, y acerca de la adquisición de esta competencia por los médicos residentes.

Consideraciones éticas

Por su naturaleza no se requirió de aprobación por el comité de ética en investigación interno.

Análisis estadístico

Se registraron datos de los asistentes tales como edad, sexo, y especialidad que cursan. Las encuestas realizadas, para proteger la privacidad de los participantes, no tienen datos que permitan la identificación de los asistentes, y solo se obtuvieron estadísticas descriptivas univariadas. En los datos continuos se realizó análisis de estadística descriptiva, y se reportan mediante medidas de tendencia central, mientras que las variables categóricas se reportan en frecuencias y en porcentajes. El análisis estadístico se realizó en el Software estadístico Jamovi versión 2.3, de descarga libre en <https://www.jamovi.org>.

RESULTADOS

En el marco de nuestro programa de capacitación, instruimos a un total de 33 residentes médicos. Este grupo estuvo compuesto por un 54.5% hombres ($n = 18$) y un 45.5% mujeres ($n = 15$). En términos de edad, la media se situó en 31.7 años (con una mediana de 30 años, una desviación estándar de 5.56 y un rango intercuartil de 4). Los residentes provenían de diversas disciplinas médicas: un 39.4% ($n = 13$) pertenecía a Medicina Interna, un 36.4% ($n = 12$) a Cirugía General, y el restante 24.2% ($n = 8$) a Anestesiología.

De acuerdo con un cuestionario aplicado previo a la capacitación, el 78.8% ($n = 26$) de los participantes se consideraba familiarizado con la teoría subyacente a la colocación de accesos vasculares. Asimismo, un 72.7% ($n = 24$) afirmó tener familiaridad con la técnica correcta de colocación de accesos vasculares ecoguiados. En cuanto a la habilidad para la colocación de accesos vasculares ecoguiados, el 60.6%

Figura 1. Estaciones de simulación con el modelo de bajo costo para inserción de catéteres venosos centrales por técnica ecoguiada



se veía competente, aunque un 24.2% no se sentía familiarizado con esta técnica. En términos de la confianza para la realización de la técnica, un 51.5% se sentía seguro, un 18.2% totalmente seguro, mientras que otro 18.2% admitió tener poca confianza, como se observa en la **tabla 1**.

Una vez finalizada la capacitación, nuestros hallazgos mostraron que, en relación a la fidelidad del modelo utilizado, el 39.4% estuvo completamente de acuerdo en que este reproducía de manera fiel la anatomía humana, y un 33.3% se mostró de acuerdo con dicha afirmación. Sin embargo, un 9.1% discre-

pó con esta percepción. En lo referente a la representación de la textura del tejido simulado, un 66.7% confirmó que el modelo proporcionaba una sensación realista (39.4% totalmente de acuerdo, 27.3% de acuerdo), aunque un 18.1% no estaba de acuerdo este punto. El 90.9% de los participantes coincidió en que el modelo simulaba con claridad una imagen ecográfica de las estructuras vasculares y la aguja (**figura 2**), mientras que un 81.8% estuvo de acuerdo en que el modelo reproducía con exactitud el proceso de inserción del catéter venoso central. En cuanto a la practicidad del modelo, un 84.8% sostuvo que

Tabla 1. Resultados de la encuesta previo a la capacitación de accesos vasculares ecoguiados

	n=	%
¿Considera haber entendido adecuadamente el sustento teórico de los accesos vasculares guiados por ultrasonido?		
Completamente familiarizado	2	6.1
Familiarizado	26	78.8
Indiferente	1	3.0
No familiarizado	4	12.1
¿Usted conoce la correcta técnica de la colocación de un catéter venoso central guiado por ultrasonido?		
Completamente familiarizado	2	6.1
Familiarizado	24	72.7
Indiferente	2	6.1
No familiarizado	5	15.2
¿Puede usted colocar AHORA un acceso venoso central guiado por ultrasonido?		
Completamente familiarizado	2	6.1
Familiarizado	20	60.6
Indiferente	3	9.1
No familiarizado	8	24.2
¿Cuánta confianza tiene en USTED MISMO para colocar un catéter venoso central ahora?		
En total confianza	6	18.2
En confianza	17	51.5
Indiferente	4	12.1
Con poca confianza	6	18.2

fue fácil de usar, en contraposición a un 6.1% que se mostró en desacuerdo. En términos comparativos, un 93.9% informó que el modelo fue más sencillo de utilizar que otros dispositivos de simulación de catéteres venosos centrales usados anteriormente. En el dominio de la adquisición de habilidades, un 81.8% estuvo de acuerdo en que un modelo de esta naturaleza resultó adecuado para la capacitación de los residentes en nuestro contexto hospitalario. De manera análoga, un 87.8% de los residentes indicó que el uso de estos dispositivos de simulación incrementó su confianza para la colocación de accesos vasculares ecoguiados. Notablemente, un 90.9% consideró que la capacitación en accesos vasculares ecoguiados era un componente esencial en la formación de los médicos residentes, en contraposición a un 3% que no vio la necesidad de dicha instrucción, dichos resultados se enlistan en la **tabla 2**.

Figura 2. Imagen ecosonográfica del modelo de bajo costo para inserción de catéteres venosos centrales por técnica ecoguiada

Tabla 2. Resultados de la encuesta posterior a la capacitación de accesos vasculares ecoguiados

	n=	%
Fidelidad		
<i>¿El modelo es similar a la anatomía humana?</i>		
Completamente de acuerdo	13	39.4
De acuerdo	11	33.3
Indiferente	6	18.2
Muy en desacuerdo	3	9.1
<i>¿El modelo tiene una sensación realista como el tejido humano?</i>		
Completamente de acuerdo	13	39.4
De acuerdo	9	27.3
Indiferente	5	15.2
En desacuerdo	4	12.1
Muy en desacuerdo	2	6.1
<i>¿El modelo proporcionó una imagen ecográfica clara de las estructuras vasculares y la aguja?</i>		
Completamente de acuerdo	30	90.9
Indiferente	1	3
En desacuerdo	2	6.1
<i>¿El modelo imita el progreso de la inserción del catéter venoso?</i>		
Completamente de acuerdo	17	51.5
Indiferente	3	9.1
En desacuerdo	2	6.1
Muy en desacuerdo	1	3
Conveniencia		
<i>¿El modelo es fácil de usar?</i>		
Completamente de acuerdo	28	84.8
Indiferente	3	9.1
En desacuerdo	2	6.1
<i>En comparación a otros modelos, ¿este le resultó más conveniente de usar?</i>		
Completamente de acuerdo	31	93.9
En desacuerdo	2	6.1
Competencia		
<i>¿Considera usted que este modelo es adecuado para la formación de residentes en nuestro hospital?</i>		
Completamente de acuerdo	27	81.8
Indiferente	4	12.1
En desacuerdo	2	6.1
<i>¿Usted considera que el uso de este modelo puede mejorar las competencias de colocación de catéter venoso central en los residentes?</i>		
Completamente de acuerdo	27	81.8
Indiferente	4	12.1
En desacuerdo	2	6.1
<i>¿Usted considera que el uso de estos dispositivos de simulación incrementan su confianza en la colocación de catéter venoso central ecoguiados?</i>		
Completamente de acuerdo	29	87.9
Indiferente	2	6.1
En desacuerdo	2	6.1
<i>¿Considera usted que esta capacitación es necesaria dentro de la formación de los médicos residentes?</i>		
Completamente de acuerdo	30	90.9
Indiferente	2	6.1
Muy en desacuerdo	1	3

DISCUSIÓN

El diseñar modelos de simulación accesibles, más que un mero acto pedagógico, es una necesidad en los países en vías de desarrollo, ya que se ha reportado por diversos autores que el aprendizaje basado en simulación es altamente efectivo, y que tiene diversos impactos ya que mejora las habilidades clínicas, aumenta la confianza de los médicos en formación, promueve la seguridad del paciente, permite el aprendizaje sin riesgo, el ensayo de situaciones complejas y la retroalimentación inmediata, y contribuye así a la formación de profesionales más competentes^{20,29,30}.

Se buscó construir un modelo de bajo costo y alta fidelidad para el desarrollo de habilidades clínicas que pudieran cerrar la brecha en el conocimiento y la experiencia con el personal médico en formación, ya que, si bien existen diversos modelos en el mercado, sus costos son altamente elevados, y salen de lo asequible para los presupuestos educativos. Diversos estudios han demostrado su interés por utilizar la simulación en la educación médica continua y de esta manera mejorar el rendimiento técnico conductual^{31,32}.

La creación de modelos de simulación de bajo costo para desarrollar habilidades y competencias en médicos residentes es factible y sencilla a través del autoensamblaje de componentes localmente disponibles o económicos. Incluso es posible utilizar materiales desechables, usados, desechados y hasta caducados^{33,34}. La eficacia de estos modelos radica en que se ha demostrado que no existen diferencias significativas con otros dispositivos de simulación de alto costo³⁵⁻³⁹. Lo más relevante es que la adquisición de estas habilidades para la práctica clínica se traduce en mejoras en el rendimiento clínico de los médicos residentes en su día a día³³. Los beneficios de la simulación de bajo costo pueden reflejarse en una buena práctica clínica, y proporcionan mayor seguridad en la adquisición de competencias clínicas para el personal en formación. Esto se logra mediante la oportunidad de practicar y desarrollar habilidades de manera realista, pero con menores costos de aplicación^{35,37,39}.

Nuestro modelo presenta algunas limitaciones, especialmente las reportadas en relación a la textura del tejido de simulación. Según las opiniones reco-

gidas durante la capacitación, esta textura es más suave y no siempre corresponde a la textura real de la piel de nuestra población. Otra limitación es que, al estar hecho de material orgánico, su duración sin refrigeración es corta y con el paso de las horas pierde la textura y sensación inicial, lo que limita el tiempo de uso, especialmente en entornos cálidos. Además de las limitaciones propias del modelo, nuestro análisis presenta algunas limitaciones metodológicas, como la reducida cantidad de personal en formación que asistió a la capacitación, y que no fue un diseño aleatorizado, sino un análisis descriptivo de lo observado en este grupo de capacitación. Sería provechoso en futuros estudios analizar y comparar con otros modelos de bajo costo, y evaluar su factibilidad para la adquisición de competencias necesarias en la práctica clínica del médico residente.

CONCLUSIONES

A pesar de las limitaciones que se describieron anteriormente, nuestro modelo de bajo costo para la colocación de accesos vasculares ecoguiados representa una herramienta potencialmente viable y fácilmente replicable. Fabricado con materiales económicos, este modelo promete una implementación asequible, facilitando así la formación esencial en programas de especialización médica. Sin embargo, es importante destacar que nuestro estudio no examinó directamente el impacto del modelo en el aprendizaje práctico de los médicos residentes ni en la adquisición de competencias específicas. En cambio, la investigación se centró en evaluar la percepción de los residentes sobre la fidelidad del modelo de simulación y su valor percibido para el aprendizaje en su contexto local. Por lo tanto, aunque nuestro modelo sugiere una ruta prometedora hacia una formación más accesible en la colocación de accesos venosos centrales ecoguiados, se requiere investigación adicional para validar completamente su eficacia y su impacto en el aprendizaje y la competencia clínica de los médicos residentes.

CONTRIBUCIÓN INDIVIDUAL

- IIM: Diseño de la intervención educativa, análisis de los resultados, redacción del manuscrito final.
- ATSL: Diseño de la intervención educativa, redacción del manuscrito final.

- LOCR: Diseño de la intervención educativa, redacción del manuscrito final.
- MJPC: Implementación de la intervención educativa, gestión de la capacitación, redacción del manuscrito final.
- QNH: Implementación de la intervención educativa, gestión de la capacitación, redacción del manuscrito final.
- JYIM: Capacitador, organizador de la capacitación, implementación de la intervención educativa, redacción del manuscrito final.

AGRADECIMIENTOS

Omar, Canek, Niza, como parte del equipo de capacitación teórico. Diego Manuel Sánchez García, Eloy Domínguez Castro, Ismael Guadalupe Lázaro Vargas, Magdalena Bautista Cayetano, Cristian Iván Díaz Colin, Rene Domínguez Nolasco, como capacitadores prácticos.

PRESENTACIONES PREVIAS

Ninguna.

FINANCIAMIENTO

Ninguno.

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno. 🔍

REFERENCIAS

1. Kolikof J, Peterson K, Baker AM. Central Venous Catheter. En: StatPearls. 2022.
2. Seifert H, Jansen B, Widmer AF, Farr BM. Central Venous Catheter. En: StatPearls. Treasure Island, Florida: StatPearls Publishing; 2022. p. 293-326.
3. Hoffman T, Du Plessis M, Prekupec MP, Gielecki J, Zurada A, Shane Tubbs R, et al. Ultrasound-guided central venous catheterization: a review of the relevant anatomy, technique, complications, and anatomical variations. *Clin Anat* [Internet]. 2017 [citado el 29 de mayo de 2023];30:237-50. Disponible en: 10.1002/ca.22768
4. Chawla R, Varma V, Kansal S. Central line placement [Internet]. StatPearls. Treasure Island, Florida: StatPearls Publishing; 2012. p. 723-33. Disponible en: 10.1007/978-81-322-0535-7_91
5. Míguelena Bobadilla JM, Morales-García D, Iturburu Belmonte I, Alcázar Montero JA, Serra Aracil X, Docobo Durantez F, et al. General Surgery Training in Spain: Core Curriculum and Specific Areas of Training. *Cirugía Española (English Ed)* [Internet]. 2015 [citado el 29 de mayo de 2023];93:147-51. Disponible en: 10.1016/J.CIRENG.2014.10.006
6. Curriculum Outline for General Surgery [Internet]. United States of America; 2022 [citado el 29 de mayo de 2023]. Disponible en: https://www.absurgery.org/default.jsp?scre_booleklet
7. Tetzlaff JE, Warltier DC. Assessment of Competency in Anesthesiology. *Anesthesiology* [Internet]. 2007 [citado el 29 de mayo de 2023];106:812-25. Disponible en: 10.1097/01.ANES.0000264778.02286.4D
8. Vinagre R, Tanaka P, Tardelli MA. Competency-based anesthesiology teaching: comparison of programs in Brazil, Canada and the United States. *Brazilian J Anesthesiol* [Internet]. 2021 [citado el 29 de mayo de 2023];71:162. Disponible en: 10.1016/j.bjane.2020.12.026
9. Iobst W, Aagaard E, Bazari H, Brigham T, Bush RW, Caverzagie K, et al. Internal Medicine Milestones [Internet]. 2021 [citado el 29 de mayo de 2023]. Disponible en: 10.4300/JGME-05-01s1-03
10. Universidad Nacional Autónoma de México. Programa académico PUEM [Internet]. Ciudad de México; 2022 [citado el 29 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://tinyurl.com/25khrq4y>
11. Asociación Mexicana de Cirugía General, Consejo Mexicano de Cirugía General. Programa de Referencia para la Formación de Cirujanos Generales en México [Internet]. Ciudad de México; 2022. Disponible en: <https://amcg.org.mx/download/programa-de-referencia-para-la-formacion-de-cirujanos-generales-en-mexico/#>
12. Huang GC, Smith CC, Gordon CE, Feller-Kopman DJ, Davis RB, Phillips RS, et al. Beyond the comfort zone: Residents assess their comfort performing inpatient medical procedures. *Am J Med* [Internet]. 2006 [citado el 29 de mayo de 2023];119:71.e17-71.e24. Disponible en: 10.1016/j.amjmed.2005.08.007
13. Huang GC, Newman LR, Schwartzstein RM, Clardy PF, Feller-Kopman D, Irish JT, et al. Procedural Competence in Internal Medicine Residents: Validity of a Central Venous Catheter Insertion Assessment Instrument. *Acad Med* [Internet]. 2009 [citado el 29 de mayo de 2023];84:1127-34. Disponible en: 10.1097/ACM.0b013e3181acf491
14. Huang GC, Smith CC, York M, Weingart SN. Asking for help: internal medicine residents' use of a medical procedure service. *J Hosp Med* [Internet]. 2009 [citado el 29 de mayo de 2023];4:404-9. Disponible en: 10.1002/JHM.434
15. Saugel B, Scheeren TWL, Teboul JL. Ultrasound-guided central venous catheter placement: A structured review and recommendations for clinical practice. *Crit Care* [Internet]. 2017 [citado el 29 de mayo de 2023];21:1-11. Disponible en: 10.1186/S13054-017-1814-Y/FIGURES/7
16. Caballero AF, Villarreal K, Caballero AF, Villarreal K. Ultrasound for central vascular access. A safety concept that is renewed day by day: review. *Colomb J Anesthesiol* [Internet]. 2018 [citado el 29 de mayo de 2023];46:32-8. Disponible en: 10.1097/CJ9.0000000000000043
17. Liu Y, Li J, Chang J, Xiao S, Pei W, Wang L. A new inexpensive ultrasound-guided central venous catheterization simulation

- model. *BMC Med Educ* [Internet]. 2023 [citado el 29 de mayo de 2023];23. Disponible en: [10.1186/s12909-023-04080-z](https://doi.org/10.1186/s12909-023-04080-z)
18. Álvarez JML, Quevedo OP, López-Manteola SAG, Esteban JN, Ferrer JFL, Villegas DLL, et al. Revision of Training Models on Ultrasound-Guided Vascular Access: Presentation of an Animal Model. *Ultrasound Imaging - Curr Top* [Internet]. 2022 [citado el 29 de mayo de 2023]; Disponible en: [10.5772/INTECHOPEN.101901](https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.101901)
 19. Dávila-Cervantes A. Simulación en Educación Médica. *Investig en Educ Médica* [Internet]. 2014;3:100-5. Disponible en: [10.1016/S2007-5057\(14\)72733-4](https://doi.org/10.1016/S2007-5057(14)72733-4)
 20. Ubillús Arriola de Pimentel G, Ubillús Arriola de Pimentel G. La simulación clínica en la enseñanza de la medicina. *Horiz Médico* [Internet]. 2022 [citado el 29 de mayo de 2023];22:e1766. Disponible en: [10.24265/HORIZMED.2022.V22N1.00](https://doi.org/10.24265/HORIZMED.2022.V22N1.00)
 21. Herrera-Aliaga E, Estrada LD. Trends and Innovations of Simulation for Twenty First Century Medical Education. *Front Public Heal* [Internet]. 2022 [citado el 30 de mayo de 2023];10:367. Disponible en: [10.3389/FPUBH.2022.619769/BIBTEX](https://doi.org/10.3389/FPUBH.2022.619769/BIBTEX)
 22. Fletcher JD, Wind AP. Cost considerations in using simulations for medical training. *Mil Med* [Internet]. 2013;178:37-46. Disponible en: [10.7205/milmed-d-13-00258](https://doi.org/10.7205/milmed-d-13-00258)
 23. Good RJ, Mashburn D, Jekich E, Miller K, Leroue MK, Woods J, et al. Simulation-Based Training for Ultrasound-Guided Central Venous Catheter Placement in Pediatric Patients. *MedEdPORTAL J Teach Learn Resour* [Internet]. 2022 [citado el 30 de mayo de 2023];18:11276. Disponible en: [10.15766/MEP_2374-8265.11276](https://doi.org/10.15766/MEP_2374-8265.11276)
 24. Andreatta P, Mangrulkar R, Marsh M, Chen Y, Cho K, Thompson M. Simulation-based Training in Ultrasound Assisted Central Venous Catheterization. En: *Simulation in Healthcare* [Internet]. 2007. Disponible en: <https://tinyurl.com/2bdamw2a>
 25. Ballard HA, Rivera A, Tsao M, Phillips M, Robles A, Hajduk J, et al. Use of an ultrasound-guided intravenous catheter insertion simulation-based mastery learning curriculum to improve paediatric anaesthesia care. *BJA Open* [Internet]. 2022 [citado el 30 de mayo de 2023];4:100101. Disponible en: [10.1016/j.bjao.2022.100101](https://doi.org/10.1016/j.bjao.2022.100101)
 26. Denadai R, Toledo AP, Bernades DM, Diniz FD, Eid FB, Lanfranchi LMM de M, et al. Simulation-based ultrasound-guided central venous cannulation training program. *Acta Cirúrgica Bras* [Internet]. 2014 [citado el 30 de mayo de 2023];29:132-44. Disponible en: [10.1590/S0102-86502014000200010](https://doi.org/10.1590/S0102-86502014000200010)
 27. Pérez-Quevedo O, López-Álvarez JM, Limiñana-Cañal JM, Loro-Ferrer JF. Design and application of model for training ultrasound-guided vascular cannulation in pediatric patients. *Med Intensiva* [Internet]. 2016 [citado el 30 de mayo de 2023];40:364-70. Disponible en: [10.1016/J.MEDIN.2015.11.005](https://doi.org/10.1016/J.MEDIN.2015.11.005)
 28. Ault MJ, Rosen BT, Ault B. The use of tissue models for vascular access training: Phase I of the procedural patient safety initiative. *J Gen Intern Med*. 2006;21:514-7.
 29. Sawaya RD, Mrad S, Rajha E, Saleh R, Rice J. Simulation-based curriculum development: lessons learnt in Global Health education. *BMC Med Educ* [Internet]. 2021 [citado el 16 de julio de 2023];21:1-6. Disponible en: [10.1186/S12909-020-02430-9/TABLES/2](https://doi.org/10.1186/S12909-020-02430-9/TABLES/2)
 30. Sanchez MG, Kumar V. Curriculum Design in Medical Simulation. En: *StatPearls*. StatPearls Publishing; 2023.
 31. Martinerie L, Rasoaherinomenjanahary F, Ronot M, Fournier P, Dousset B, Tesnière A, et al. Health care simulation in developing countries and low-resource situations. *J Contin Educ Health Prof* [Internet]. 2018 [citado el 18 de julio de 2023];38:205-12. Disponible en: [10.1097/CEH.0000000000000211](https://doi.org/10.1097/CEH.0000000000000211)
 32. Abas Fatema Zehra Juma T. Advances in Medical Education and Practice Dovepress Benefits of simulation training in medical education Dear editor. *Adv Med Educ Pract* [Internet]. 2016 [citado el 18 de julio de 2023];7:399-400. Disponible en: [10.2147/AMEP.S110386](https://doi.org/10.2147/AMEP.S110386)
 33. Lima PHL, Cordeiro EB, Araújo GG, Vasconcelos PTF de G, Cruz SMLT, Freitas GRC, et al. Simulators for vascular access training: an integrative review. *Res Soc Dev* [Internet]. 2022 [citado el 11 de marzo de 2024];11:e313111638389-e313111638389. Disponible en: <https://tinyurl.com/226lzfzfs>
 34. Chao SL, Chen KC, Lin LW, Wang TL, Chong CF. Ultrasound phantoms made of gelatin covered with hydrocolloid skin dressing. *J Emerg Med*. 2013;45:240-3.
 35. Rippey JCR, Blanco P, Carr PJ. An affordable and easily constructed model for training in ultrasound-guided vascular access. *J Vasc Access*. 2015;16:422-7.
 36. Kendall JL, Faragher JP. Ultrasound-guided central venous access: a homemade phantom for simulation. *CJEM*. 2007;9:371-3.
 37. Evans L V, Dodge KL, Shah TD, Kaplan LJ, Siegel MD, Moore CL, et al. Simulation training in central venous catheter insertion: improved performance in clinical practice. *Acad Med*. 2010;85:1462-9.
 38. Makeeva V, Gullett JP, Dowla S, Olson K, Resuehr D. Evaluation of Homemade Ballistic Gelatin Phantoms as a Low-Cost Alternative to Commercial-Grade Phantoms in Medical Education. *Med Sci Educ* [Internet]. 2016;26:307-16. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40670-016-0258-3>
 39. Palmer JM, Little A, Tran QV. Cost-Effective Training Models in Point-of-Care Ultrasound for Medical Students in Emergency Medicine: An Evaluation of Current Resources. *Cureus* [Internet]. 2022 [citado el 11 de marzo de 2024];14. Disponible en: [/pmc/articles/PMC9064708/](https://doi.org/10.7755/cureus/PMC9064708/)