

Citar como:

Sotelo W, Mas G, León W, Cáceres J, Vásquez C. Desarrollo de un simulador de artrocentesis de bajo costo mediante impresión 3D para el entrenamiento de estudiantes de Medicina. Rev Méd Hered. 2026; 37(1): 3-10. DOI: 10.20453/rmh.v37i1.6365

Recibido: 14/03/2025

Aceptado: 25/09/2025

Financiamiento:

Financiado por los autores.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de autoría:

WSD, GMU: concepción del estudio, recolección de datos, análisis estadístico, búsqueda bibliográfica, redacción del manuscrito, aprobación del manuscrito final. **WLO, JCA:** concepción del estudio, recolección de datos, análisis estadístico, manufactura del prototipo, redacción del manuscrito, aprobación del manuscrito final. **CVR:** concepción del estudio, redacción del manuscrito, aprobación del manuscrito final.

Correspondencia:

Wendy Sotelo Díaz

✉ wendy.sotelo.d@upch.pe








Artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

© Los autores

© Revista Médica Herediana

Desarrollo de un simulador de artrocentesis de bajo costo mediante impresión 3D para el entrenamiento de estudiantes de Medicina

Development of a Low-Cost Arthrocentesis Simulator Using 3D Printing for the Training of Medical Students

Wendy Sotelo Díaz^{1,a} , Guiliana Mas Ubillús^{1,b} , Walter León Osorio^{1,c} , José Cáceres Albán^{1,c} , Carlos Vásquez Roque^{1,c} 

¹ Facultad de Medicina, Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima, Perú.

^a Médico reumatóloga.

^b Médico internista.

^c Ingeniero biomédico.

RESUMEN

La impresión 3D ha revolucionado diversas áreas, incluyendo la educación médica y el desarrollo de simuladores para el entrenamiento de procedimientos clínicos. Entre ellos, la artrocentesis es un procedimiento valioso para todo médico general.

Objetivo: Desarrollar un prototipo de simulador de rodilla para artrocentesis de bajo costo, que replique con precisión las características anatómicas de la cavidad articular y que reproduzca el procedimiento con un nivel de fidelidad aceptable.

Material y métodos: Se elaboró un prototipo de simulador para artrocentesis de rodilla, compuesto por una base de espuma de alta densidad, junto con polímeros de silicona con propiedades elásticas para simular el tejido blando. La rótula fue fabricada mediante impresión 3D. El simulador fue evaluado por residentes de medicina y docentes especialistas en un taller, quienes valoraron el realismo anatómico, la sensibilidad táctil y su utilidad en la enseñanza de la artrocentesis.

Resultados: Más del 60 % de los participantes consideraron adecuado el realismo del modelo, mientras que el 57,14 % de los docentes y el 30,77 % de los residentes percibieron que la resistencia de la rótula era similar a la de un hueso real. La ejecución del procedimiento fue exitosa en el 100,0 % de los casos evaluados.

Conclusión: Este estudio permitió desarrollar un simulador de rodilla para artrocentesis de bajo costo, el cual logró replicar las características anatómicas para la enseñanza del procedimiento respectivo.

PALABRAS CLAVE: impresión tridimensional; entrenamiento simulado; tecnología de bajo costo; artrocentesis.

SUMMARY

3D printing has transformed various fields, including medical education and the creation of simulators for clinical procedure training. Arthrocentesis is a valuable procedure for all general practitioners. **Objective:** To develop an affordable knee simulator prototype for arthrocentesis that accurately mimics the anatomical features of the joint cavity and performs the procedure with an acceptable level of realism. **Methods:** A prototype was built using a high-density foam base and silicone polymers with elastic properties to replicate soft tissue. The patella was 3D printed. Medical residents and specialist instructors evaluated the simulator for anatomical accuracy, tactile feedback, and educational usefulness. **Results:** More than 60% of participants found the model's realism adequate. Specifically, 57.14% of instructors and 30.77% of residents felt that the resistance of the patella was similar to real bone. The procedure was successfully performed in 100% of the cases evaluated. **Conclusion:** This study successfully developed an inexpensive knee simulator that replicates anatomical features for educational purposes.

KEYWORDS: 3D-printing, simulation training, low-cost technology, arthrocentesis.

INTRODUCCIÓN

La artrocentesis es un procedimiento relativamente frecuente en la práctica clínica médica, que consiste en la extracción de líquido sinovial de una articulación mediante una aguja, con una finalidad diagnóstica y terapéutica. Se realiza con mayor frecuencia en las articulaciones de rodillas, caderas, hombros, tobillos y codos. La principal indicación del procedimiento es el diagnóstico diferencial de monoartritis o tumefacción, es decir, dolor y limitación funcional de una sola articulación, cuyo origen puede ser infeccioso o inflamatorio. Ante la sospecha de una artritis séptica, se debe realizar el procedimiento de manera urgente antes del inicio del tratamiento antibiótico. La artrocentesis también puede orientar al diagnóstico de artritis inducida por cristales, como la gota o pseudogota, o una artritis no inflamatoria, como la osteoartritis. Asimismo, identificar la causa del derrame no solo orienta al diagnóstico, sino también al tratamiento. La extracción de líquido de una rodilla puede reducir la presión intraarticular y disminuir el dolor y mejorar el movimiento. No hay una contraindicación absoluta, pero al seleccionar el sitio de entrada de la aguja, se debe asegurar que la piel no esté infectada. Dentro de las principales complicaciones se presentan infecciones en el sitio de la punción, dolor, trauma local y reaccumulación del fluido. Por lo cual, la artrocentesis es un procedimiento médico valioso para el diagnóstico y alivio del dolor,

siendo una habilidad procedimental importante para el médico general. ^(1,2)

En la actualidad, la impresión 3D ha ganado impulso en distintos campos, como la ingeniería, la arquitectura, la aviación y la medicina ⁽³⁾. Su desarrollo ha transformado la manera en que puede contribuir a la educación médica y en diferentes campos de la medicina. Sus aplicaciones en medicina son diversas: en educación médica está orientada a la formación de distintos profesionales de la salud; en el ámbito clínico se utiliza para la simulación de procedimientos quirúrgicos y médicos, así como para la fabricación de prótesis e implantes, desarrollo de dispositivos médicos, e impresión y construcción de tejidos para el tratamiento de diversas enfermedades ⁽⁴⁾. Asimismo, ha cobrado relevancia para manufacturar implantes, modelos anatómicos o guías útiles en abordajes quirúrgicos o para producir simuladores de entrenamiento en procedimientos médicos ^(5,6). En este contexto, resalta la utilidad del entrenamiento de habilidades psicomotoras basadas en simuladores de baja fidelidad, el cual tiene un enfoque valioso para aprender habilidades procedimentales específicas y, a su vez, complejas. ^(7,8)

Diversos estudios han investigado el uso de modelos impresos en 3D para desarrollar simuladores de bajo costo, lo que destaca su utilidad en la enseñanza de procedimientos complejos como la artroscopia, la

broncoscopia y el drenaje torácico^(9,10). Por ejemplo, se han diseñado modelos específicos para artrocentesis en articulaciones temporomandibulares y de muñeca, que integran materiales que simulan estructuras anatómicas de forma realista. Estos simuladores no solo son accesibles económicamente, sino que también ofrecen una experiencia de aprendizaje efectiva al permitir la práctica procedimental con retroalimentación visual realista, consolidando su valor en entornos educativos y de formación médica.⁽¹¹⁻¹³⁾

En la formación médica, se ha demostrado que la enseñanza y el aprendizaje basados en simulación contribuyen a mejorar significativamente las habilidades procedimentales de los estudiantes⁽¹⁴⁻¹⁶⁾. Los simuladores cobran mayor relevancia en procedimientos invasivos como la artrocentesis, ya que ofrecen oportunidades de reducción de riesgos para los pacientes y aumentan el nivel de confianza de los estudiantes⁽¹⁷⁻¹⁹⁾. Sin embargo, existe poca accesibilidad a estos simuladores debido a su alto costo, que en el mercado oscila entre 2000 y 3000 USD.⁽²⁰⁾

El objetivo del estudio fue desarrollar un prototipo de simulador de rodilla para artrocentesis de bajo costo, que replique con precisión las características anatómicas de la cavidad articular y que reproduzca el procedimiento con un nivel de fidelidad aceptable.

MATERIAL Y MÉTODOS

Estudio de diseño tecnológico para el desarrollo de un simulador de bajo costo de artrocentesis.

Diseño del prototipo

Se fabricó un prototipo de simulador para artrocentesis de bajo costo, cuya estructura principal estuvo compuesta por una base de espuma de alta densidad, junto con polímeros de silicona con propiedades elásticas para simular el tejido blando. La rótula se elaboró por impresión 3D; para ello, se realizó el escaneo de una rótula real con un teléfono inteligente mediante la técnica de fotogrametría monoscópica. Posteriormente, el modelo se acopló a un reservorio externo (figura 1). El costo para la fabricación del simulador fue aproximadamente 50 USD. El prototipo fue evaluado y validado por un docente reumatólogo experto en el procedimiento de artrocentesis.

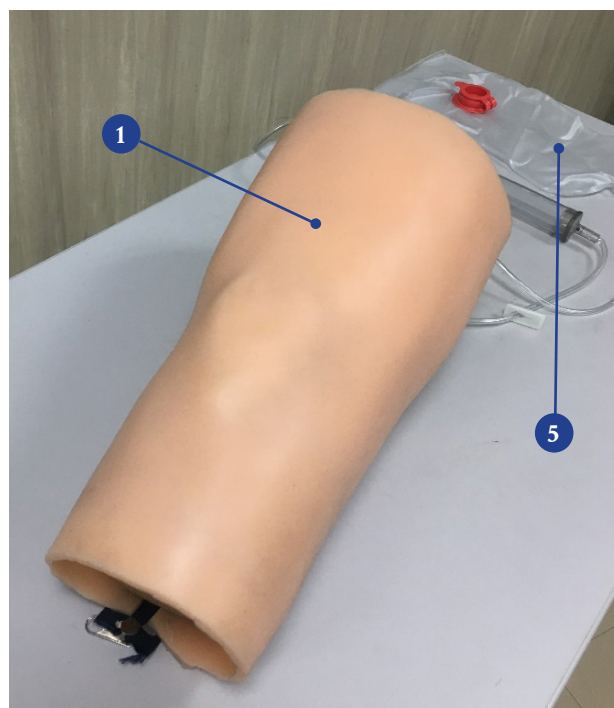


Figura 1. Se muestra la invención del simulador de bajo costo. 1: Piel de silicona; 5: Reservorio externo.

Evaluación y validación del prototipo

Se desarrolló un taller teórico-práctico para médicos residentes de primer y tercer año de la especialidad de Medicina Interna de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH), de la sede Hospital Nacional Arzobispo Loayza (HNAL). Se les proporcionó material didáctico y un video del procedimiento previo a las sesiones, las cuales se realizaron en grupos de 3 a 4 participantes por turno y fueron dirigidas por docentes médicos internistas de la UPCH. Se programaron dos actividades: la primera fue una encuesta sobre el realismo, la fidelidad anatómica, la sensibilidad táctil de la rótula y la validez de reparos, angulación y entrenamiento del simulador de artrocentesis; y la segunda fue una evaluación formativa del procedimiento mediante una lista de cotejo aplicada por el médico reumatólogo, con el objetivo de dar una retroalimentación directa a los participantes (figura 2). Los docentes también fueron invitados a responder las encuestas mencionadas. Tanto a los alumnos como a los docentes se les evaluó el tiempo y la frecuencia de errores al realizar el procedimiento.



Figura 2. Realización del procedimiento de artrocentesis con simulador de bajo costo.

Análisis estadístico

Para las variables cuantitativas, se determinaron la media y la desviación estándar. De no tener distribución normal, se utilizaron mediana y rango intercuartílico. Para las variables cualitativas, se determinaron porcentajes y frecuencias. Se utilizó STATA 18 con licencia de la UPCH.

Consideraciones éticas

Este trabajo de investigación fue revisado y aprobado por el Comité de Ética de la UPCH y se registró en el Sistema Descentralizado de Información y Seguimiento (SIDISI-210053) previo a su ejecución. Se obtuvo el consentimiento informado de los participantes, tanto de alumnos como de docentes.

RESULTADOS

Participaron 13 médicos residentes y 7 docentes de la especialidad de Medicina Interna. En la evaluación del realismo y la fidelidad anatómica del simulador, más del 60 % de los docentes y residentes consideraron adecuadas la ubicación del punto de punción, la asepsia, la infiltración y la realización del procedimiento en comparación con un paciente real (tabla 1).

Tabla 1. Frecuencia de respuestas acerca del realismo y la fidelidad anatómica que muestra el simulador por parte de docentes ($n = 7$) y residentes ($n = 13$).

Respuesta	Evaluación			
	Adecuadamente como en un paciente real		Suficiente como en un paciente real	
	Docente	Residente	Docente	Residente
	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)
1. Ubica el punto de punción: a 2 cm lateral o medial de la patela con tercio superior de la patela, por debajo de la patela. Marca el punto.	5 (71,43)	9 (69,23)	2 (28,57)	4 (30,77)
2. Realiza la asepsia de la zona de punción con alcohol realizando movimientos circulares desde adentro hacia afuera.	7 (100,00)	10 (76,92)	0 (0,00)	3 (23,08)
3. Carga la jeringa de 3 ml con lidocaína S/E (2 ml), cambia la aguja por una de 25 G y realiza la infiltración.	7 (100,00)	11 (84,62)	0 (0,00)	2 (15,38)
4. Coloca el campo fenestrado.*	7 (100,00)	9 (69,23)	0 (0,00)	3 (23,08)
5. Realiza la punción con la jeringa de 20 ml y aguja de 18G con la mano dominante y el bisel hacia arriba, ingresando por debajo de la patela hacia la escotadura intercondilar y aspirando el líquido sinovial hasta obtener muestra del mismo.	5 (71,43)	8 (61,54)	2 (28,57)	5 (38,46)
6. Aísla el punto de punción con esparadrapo y gasa.	7 (100,00)	10 (76,92)	0 (0,00)	3 (23,08)

*No hubo casos clasificados como inadecuados de la simulación para docentes y residentes en las actividades indicadas, salvo en "coloca el campo fenestrado", en el que hubo un caso en los residentes. S/E: sin epinefrina.

En cuanto a la sensibilidad táctil, el 57,14 % de los docentes y el 30,77 % de los residentes consideraron que el tejido del simulador era similar al normal sin

alteraciones estructurales. No obstante, el 38,46 % de los residentes percibió que la resistencia de la rótula era más suave que la de un hueso real (tabla 2).

Tabla 2. Frecuencia de respuestas sobre sensibilidad táctil por parte de los docentes ($n = 5$) y residentes ($n = 13$).

Resistencia de la rótula	Docentes*		Residentes	
	Sí		Sí	
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
1. Más suave que el hueso normal.	0 (0,00)		5 (38,46)	
2. Más duro que el hueso normal.	0 (0,00)		0 (0,00)	
3. Diferente del hueso normal, pero sin afectar la simulación.	1 (14,28)		4 (30,77)	
4. Similar al tejido normal, sin necesidad de alteración estructural.	4 (57,14)		4 (30,77)	

*Se encuentran dos valores perdidos en los datos de los docentes.

Asimismo, 71,42 % ($n = 5$) de los docentes y 76,92 % ($n = 10$) de los residentes consideraron que el simulador

tiene un valor como herramienta de entrenamiento para realizar el procedimiento de artrocentesis (tabla 3).

Tabla 3. Frecuencia de respuestas acerca de la validez que muestra el simulador por los docentes ($n = 5$) y residentes ($n = 13$).

Validez que muestra el simulador	Docentes*		Residentes	
	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	De acuerdo
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
1. El simulador tiene valor como una herramienta de entrenamiento para realizar el procedimiento de artrocentesis.	5 (71,42)	0 (0,00)	10 (76,92)	3 (23,08)
2. El simulador de artrocentesis es relevante para la educación en el residentado.	4 (57,14)	1 (14,28)	11 (84,62)	2 (15,38)
3. El simulador de artrocentesis debería ser parte del entrenamiento en habilidades procedimentales en un futuro.	5 (71,42)	0 (0,00)	11 (84,62)	2 (15,38)
4. El simulador de artrocentesis permitió la angulación adecuada para la punción.	3 (42,85)	2 (28,57)	0 (0,00)	0 (0,00)
5. El simulador de artrocentesis tuvo reparos anatómicos que orientaron la punción.	3 (42,85)	2 (28,57)	0 (0,00)	0 (0,00)

*Se encuentran dos valores perdidos en los datos de los docentes.

Los residentes cumplieron, en su totalidad, con la lista de cotejo para artrocentesis diagnóstica de rodilla (tabla 4), con la excepción de "coloca el campo fenestrado", que se cumplió en un 92,31 %. Tanto los docentes

como los residentes completaron el procedimiento sin errores. El tiempo promedio de realización del procedimiento fue de $6,61 \pm 1,50$ minutos en los residentes y de $7,0 \pm 1,63$ minutos en los docentes.

Tabla 4. Lista de cotejo para artrocentesis diagnóstica de rodilla aplicada a residentes ($n = 13$).

Lista de cotejo	
1.	Realiza lavado de manos o uso de alcohol en gel.
2.	Verifica el material a usar (alcohol en gel, yodopovidona espuma y solución, campo fenestrado, guantes estériles, jeringa de 20 ml, aguja n.º 18 y 25, jeringa de 3 ml, lidocaína S/E 2 %, frascos estériles, gasas estériles, esparadrapo, depósito para desechos biocontaminados, depósito para objetos punzocortantes y depósito para residuos comunes).
3.	Ubica el punto de punción: a 2 cm lateral o medial de la patela con tercio superior de la patela, por debajo de la patela. Marca el punto.
4.	Realiza lavado de manos o uso de alcohol en gel.
5.	Se coloca guantes estériles.
6.	Realiza la asepsia de la zona de punción con alcohol realizando movimientos circulares desde adentro hacia afuera.
7.	Carga la jeringa de 3 ml con lidocaína S/E (2 ml), cambia la aguja por una de 25G y realiza la infiltración.
8.	Se cambia de guantes estériles.
9.	Coloca campo fenestrado.
10.	Realiza la punción con la jeringa de 20 ml y aguja 18G con la mano dominante y el bisel hacia arriba, ingresando por debajo de la rótula hacia la escotadura intercondilar y aspirando el líquido sinovial hasta obtener una muestra del mismo (máximo tres intentos).*
11.	Aísla el punto de punción con esparadrapo y gasa.
12.	Coloca el líquido sinovial en 4 frascos estériles rotulados para enviar a laboratorio (1 ml por frasco).
13.	Deshecha las agujas en el depósito de objetos punzocortantes, y las gasas y jeringas vacías en el depósito de objetos biocontaminados.
14.	Documenta artrocentesis en la historia clínica.

S/E: sin epinefrina.

DISCUSIÓN

Los simuladores en educación médica son instrumentos valiosos para la adquisición de competencias procedimentales médicas y quirúrgicas, y son cada vez más relevantes por la seguridad del paciente ⁽²¹⁾. Sin embargo, muchas instituciones, tanto públicas como privadas, enfrentan dificultades para acceder a simuladores comerciales debido a su elevado costo ⁽²²⁾. En este contexto, el desarrollo de simuladores de bajo costo permite una democratización del acceso a estas herramientas de aprendizaje, contribuyendo a la sostenibilidad y la responsabilidad social ⁽²³⁻²⁶⁾. El fin de este estudio fue el desarrollo de un prototipo de simulador de artrocentesis con materiales accesibles que replique las características anatómicas y sea reproducible.

La implementación de tecnologías como la impresión 3D y el uso de materiales accesibles permite diseñar alternativas económicas que mejoran la preparación profesional de los estudiantes de medicina. La innovación en la educación médica impacta significativamente tanto en la reducción

de desigualdades como en una mejor atención a los pacientes, ya que los simuladores accesibles no solo ofrecen una manera segura en la práctica de distintos procedimientos médicos y quirúrgicos, sino que también permiten reducir riesgos en los pacientes y mejorar la confianza de los futuros profesionales de la salud. ⁽²⁷⁾

En nuestro estudio, se observó que el 71,43 % de los docentes y el 61,54 % de los residentes consideraron que el simulador de artrocentesis de bajo costo presentaba un realismo adecuado en la identificación del sitio de punción; además, más del 50 % de los docentes reportó que la sensación táctil era similar al tejido normal. Estos hallazgos sugieren que, a pesar de su bajo costo, el simulador presenta una fidelidad anatómica aceptable para evaluadores con distintos niveles de experiencia, tanto competentes como novatos.

En la práctica del procedimiento, el 100,0 % de los estudiantes identificó correctamente el sitio de punción y logró realizar la extracción del líquido articular, demostrando que el simulador permitió

la adquisición efectiva de habilidades. Además, todos los alumnos aplicaron anestesia local antes de la punción y el 92,31 % completó correctamente el desecho de objetos punzocortantes. Esto evidencia que el simulador, junto con una lista de pasos diseñada y revisada por expertos, facilitó la enseñanza estructurada del procedimiento de artrocentesis. En el estudio de Banstola et al. ⁽¹⁹⁾, el uso de un modelo de simulador de rodilla para residentes no especialistas en traumatología y ortopedia permitió incrementar la confianza y mejorar la técnica del procedimiento.

A pesar de los resultados positivos, el desarrollo y la implementación del simulador presentan algunas limitaciones. Aunque el modelo reproduce con una precisión aceptable las condiciones anatómicas de la cavidad articular, la textura y la resistencia de los materiales utilizados no son completamente equivalentes a las de una articulación real, lo que podría afectar la experiencia táctil y la percepción del realismo.

En futuras investigaciones, sería recomendable ampliar la evaluación a diferentes centros de formación médica y realizar mejoras en los materiales utilizados para optimizar la sensación táctil del simulador. No obstante, los hallazgos de este estudio resaltan el potencial de los simuladores de bajo costo como herramientas eficaces en la enseñanza de procedimientos esenciales en medicina. Esto sugiere que podrían emplearse para entrenar tanto al personal médico como no médico, incluso en zonas rurales donde el acceso al personal de salud especializado es limitado.

Agradecimientos:

Nuestro agradecimiento a los docentes y alumnos de residentado médico de la UPCH que participaron voluntariamente en el taller.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Zayat AS, Di Matteo A, Wakefield RJ. Artrocentesis e inyección en articulaciones y tejidos blandos. En: Firestein GS, Budd RC, Gabriel SE, McInnes IB, O'Dell JR, editores. Firestein y Kelley. Tratado de reumatología. 11.ª ed. Barcelona: Elsevier España; 2022. pp. 859-73.
2. Dubost JJ, Couderc M, Tournadre A, Soubrier M. Artritis séptica por piógenos en el adulto. EMC – Apar Locomot 2019;52(2):1-18. doi:10.1016/S1286-935X(19)42132-1
3. Koch A, Vermel M, Hansmann Y, Lodi M, Mura C, Sananes A, et al. 3D-printed simulator for

- nasopharyngeal swab collection for COVID-19. Infect Dis Now. 2022;52(3):138-44. doi:10.1016/j.idnow.2022.02.002
4. Sun Z, Wong YH, Yeong CH. Patient-specific 3D-printed low-cost models in medical education and clinical practice. Micromachines (Basel). 2023;14(464):1-32. doi:10.3390/mi14020464
5. Hippe DS, Umoren RA, McGee A, Bucher S, Bresnahan B. A targeted systematic review of cost analyses for implementation of simulation-based education in healthcare. SAGE Open Med. 2020;8:1-9. doi:10.1177/2050312120913451
6. Abeysekera N, Whitmore KA, Abeysekera A, Pang G, Laupland KB. Application of 3D printing in critical care medicine: a scoping review. Anaesth Intensive Care. 2021;49(3):164-72. doi:10.1177/0310057X20976
7. Moslehi S, Mosoumi G, Barghi-Shirazi F. Benefits of simulation-based education in hospital emergency departments: a systematic review. J Educ Health Promot. 2022;11(1):40-9. doi:10.4103/jehp.jehp_558_21
8. Sarmah P, Voss J, Ho A, Veneziano D, Somani B. Low vs. high fidelity: the importance of “realism” in the simulation of a stone treatment procedure. Curr Opin Urol. 2017;27(4):316-22. doi:10.1097/mou.0000000000000401
9. Bettega AL, Brunello LF, Nazar GA, De-Luca GY, Sarquis LM, Wiederkehr H, et al. Chest tube simulator: development of low-cost model for training of physicians and medical students. Rev Col Bras Cir. 2010;46(1):e2011. doi:10.1590/0100-6991e-20192011
10. Frank RM, Rego G, Gimaldi F, Salem HS, Romeo AA, Cole BJ, et al. Does arthroscopic simulation training improving triangulation and probing skills? A randomized controlled trial. J Surg Educ. 2019;76(4):1131-34. doi:10.1016/j.jsurg.2019.01.008
11. Foo QC, Hariri F, Abdul ZA. Fabrication of tree-dimensional temporomandibular joint model for artrocentesis and arthroscopy simulation. Int J Oral Maxillofac Surg. 2021;50(8):1095-9. doi:10.1016/j.ijom.2020.12.007
12. Chou J, Tenaglia M, Ho A, Valenti J, Davis C, Choi D. Can a low-fidelity arthroscopy simulator improve technical expertise in performance temporomandibular joint arthroscopy? J Oral Maxillofac Surg. 2024;82(10):1203-11. doi:10.1016/j.joms.2024.06.180
13. Cheng A, Zhou J, Chan CH, Chen C, Cheng C, Storm K, et al. A do it yourself (DIY) point-of-

- care wrist ultrasound phantom for joint access training. *Ultrasound J.* 2024;16(1):32. doi:10.1186/s13089-024-00374-5
14. Brydges R, Stroud L, Wong BM, Holmboe ES, Imrie K, Hatala R. Core competencies or a competent core? A scoping review and realist synthesis of invasive bedside procedural skills training in internal medicine. *Acad Med.* 2017;92(11):1632-43. doi:10.1097/ACM.0000000000001726
 15. Alonso GO, Cogua LN, Camacho FJ, Cortés M. Desarrollo de un simulador de bajo costo para la adquisición de destrezas básicas en cirugía artroscópica. *Rev Asoc Argent Ortop Traumatol.* 2014;79:107-16. doi:10.15417/339
 16. Stroud L, Cavalcanti RB. Hybrid simulation for knee arthrocentesis: improving fidelity in procedures training. *J Gen Intern Med.* 2013;28(5):723-7. doi:10.1007/s11606-012-2314-z
 17. Ladurner A, Nijman T, Gill TK, Smitham PJ. The impact of hands-on arthrocentesis workshop in undergraduate medical education. *BMC Med Edu.* 2020;20(260):1-9. doi:10.1186/s12909-020-02174-6
 18. Bretagne V, Delapierre A, Cerasuolo D, Bellot A, Marcelli C, Guillois B. Randomized controlled study of a training program for knee and shoulder arthrocentesis on procedural simulators with assessment on cadavers. *ACR Open Rheumatol.* 2022;4(4):312-21. doi:10.1002/acr2.11400
 19. Banstola S, Ashwood N, Stammer AT, Murugan V, Crawford A. Evaluating the confidence of non-speciality doctors working in trauma and orthopedics in performing knee arthrocentesis through simulation-based teaching. *Cureus.* 2024;16(10):e71314. doi:10.7759/cureus.71314
 20. Murray J, Ramirez-Gomez A, Cahill M, Deptola A, Diffie C, McDonnell P, et al. Workshop, assessment, and validity evidence for tools measuring performance of knee and shoulder arthrocentesis. *MedEdPORTAL.* 2023;19:11309. doi:10.15766/mep_2374-8265.11309
 21. Dávila-Cervantes A. Simulación en educación médica. *Inv Ed Med.* 2014;3(10):100-5. doi:10.1016/S2007-5057(14)72733-4
 22. Flores SL. Simulación clínica en la formación de profesionales de la salud: explorando beneficios y desafíos. *Vitalia.* 2024;5(2):116-29. doi:10.61368/r.s.d.h.v5i2.124
 23. Cai B, Rajendran K, Bay BH, Lee J, Yen C. The effects of a functional three-dimensional (3D) printed knee joint simulator in improving anatomical spatial knowledge. *Anat Sci Educ.* 2019;12(6):610-8. doi:10.1002/ase.1847
 24. Srivastava A, Gibson M, Patel A. Low-fidelity arthroscopic simulation training in trauma and orthopaedic surgery: a systematic review of experimental studies. *Arthroscopy.* 2022;38(1):190-9. doi:10.1016/j.arthro.2021.05.065
 25. Zhou F, Xue F, Zhang S. The application of 3D printing patient specific instrumentation model in total knee arthroplasty. *Saudi J Biol Sci.* 2020;27(5):1217-21. doi:10.1016/j.sjbs.2020.02.017
 26. Adams RA, Gilbert GE, Buckley LA, Nino R, Fuentealba IC, Little EL. A method for functional task alignment analysis of an arthrocentesis simulator. *Simul Healthc.* 2018;13(4):289-94. doi:10.1097/SIH.0000000000000313
 27. Tapia J, Chavolla RM, editores. Simulación: innovación en el aprendizaje médico de posgrado [Internet]. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México; 2021 [citado el 12 de enero de 2025]. Disponible en: <https://www.fmposgrado.unam.mx/wp-content/uploads/Simulacion.-Innovacion-en-el-aprendizaje-medico-de-posgrado.pdf>