



“Rediseño de almohadilla utilizada para entrenador de cateterización venosa central de acceso yugular y subclavio de la marca Laerdal”

Castillo-Gómez Paola.

Universidad Modelo. Ingeniería Biomédica. Carr. Mérida-Cholul , 200 m después del Periferico. CP 97305, Mérida, Yucatán.
(999) 930 19 00. paolacg2001@outlook.com

Palabras clave: simulador, acceso venoso, Laerdal.

Resumen. El empleo de simuladores ha resultado fundamental para desarrollar métodos de enseñanza efectivos y adquirir destrezas realistas en la capacitación del personal de salud, ofreciendo una representación fiel de las características anatómicas relevantes. En el transcurso del año 2023, un análisis exhaustivo realizado por el ingeniero biomédico a cargo del Centro de Simulación para la Excelencia Clínica y Quirúrgica (CESIECQ) ha revelado que el taller de acceso venoso central se sitúa como el tercero en demanda, subrayando la urgencia y el interés en mejoras significativas en este ámbito.

En colaboración con la Universidad, el CESIECQ ha trabajado con el departamento de ingeniería biomédica para rediseñar una almohadilla reutilizable y completamente desmontable de baja fidelidad y bajo coste, destinada a los simuladores de cateterización venosa central, específicamente en acceso yugular y subclavio de la marca Laerdal. Este artículo presenta un modelo de reemplazo que incorpora una gama de materiales de fácil adquisición en el mercado como lo son siliconas, así como técnicas de modelado e impresión en 3D. Este enfoque permitió simular diversas capas de la piel, el músculo, la clavícula, la base de la almohadilla y los componentes utilizados en los tubos que administran los fluidos en el simulador.

La evaluación de estas nuevas características abordó aspectos visuales, sensación táctil y funcionalidad, demostrando eficacia superior a la almohadilla actual. Este artículo evidencia la posibilidad de obtener y recrear una almohadilla mejorada de manera más rápida y a un menor coste en comparación con el modelo actualmente en uso.

Introducción

I. Cateterización Venosa: Fundamentos y Enfoques.

La cateterización venosa es un procedimiento crucial en medicina, que implica la inserción de un catéter biocompatible en el sistema vascular para administrar fluidos, fármacos y monitorear constantes fisiológicas. La elección de las ubicaciones para acceder al sistema venoso, ya sea periféricas o centrales mostradas en la **figura 1**, implican consideraciones específicas. Por ejemplo, la vena femoral ofrece rapidez y alta tasa de éxito, mientras que la vena yugular interna es de fácil acceso y bajo riesgo en operadores novatos. Asimismo, la vena subclavia destaca por su facilidad de mantenimiento y baja tasa de infección [3,8].

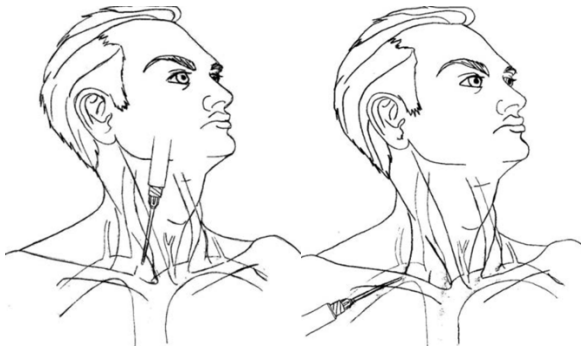


Figura 1: Sitios de punción de la vena yugular y subclavia.

II. Simulación: Herramienta Clave en la Formación Médica.

La capacitación en procedimientos clínicos y hospitalarios se beneficia enormemente de la simulación clínica, favoreciendo a los estudiantes cometer errores en ambientes controlados, debido a que están continuamente supervisados y son corregidos de manera inmediata fortaleciendo los conocimientos y habilidades técnicas [5].

III. Avances en Simulación Médica y su Impacto.

La evolución de la simulación médica desde mediados del siglo XX hasta la actualidad se ha marcado por innovaciones significativas. Desde simuladores básicos hasta modelos más precisos que replican características fisiológicas, estos avances tecnológicos han mejorado la formación médica en todos los niveles de atención, desde pregrado hasta la educación médica continua [2].

IV. Aplicaciones Prácticas de la Simulación Médica.

Diversos simuladores han revolucionado la formación médica, como menciona *Juárez-Ávila y et. al. 2020* se ha demostrado que más del 90% de los estudiantes tiene una respuesta favorable a través de actividades realizadas mediante simulación clínica [9].

Existen diversos simuladores para procedimientos quirúrgicos que ayudan a llevar a cabo la práctica médica. Como *Tripathy-Satyaswarup y et al. 2022*, quienes emplean una espuma adhesiva bicapa de poliuretano como material para replicar la textura de la piel humana para estudiar la biomecánica de los colgajos cutáneos y perfeccionar las técnicas relacionadas con los mismos [14]. O la almohadilla innovadora mostrada en la **figura 2** destinada al entrenamiento de procedimientos en fasciotomía y cierre fascial por *Williams y et al 2020*. Confeccionada por materiales avanzados como Soma Foami, la Serie Dragon Skin (un caucho de silicona) y Ecoflex [16]. Inclusive la implementación de bandejas de silicona que simulan la piel como una estrategia clave en la formación de habilidades relacionadas con suturas y curaciones por *Harris-Eggimann 2020* [7]. Estos avances no solo mejoran la precisión de la simulación, sino que también reducen los costos asociados.



Figura 2: Almohadilla con diversas capas de piel en el modelo utilizado por Williams y et al 2020.

V. Educación a través de Simuladores: Enfoque en Cateterización Venosa.

Los simuladores y entrenadores de tareas específicos para la cateterización venosa facilitan a estudiantes y profesionales adquirir las habilidades necesarias para este procedimiento. Ejemplificado por el modelo Torso IV de Laerdal mostrada en la **figura 3**, estos dispositivos proporcionan prácticas realistas en la inserción de catéteres y el acceso a áreas venosas centrales.

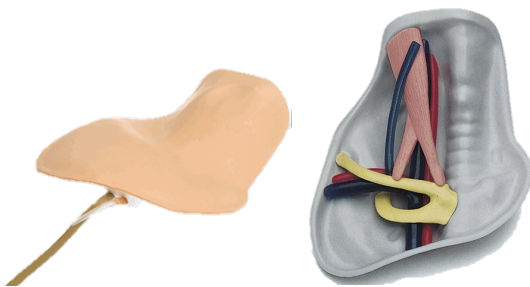


Figura 3: Almohadilla utilizada en el simulador IV Torso de Laerdal.

El modelo Torso IV de Laerdal presenta desventajas en las almohadillas utilizadas representada en la **figura 4**, por lo que el propósito es modificar la almohadilla actual permitiendo desmontar las partes inservibles sin necesidad de tirar toda la almohadilla de esta manera podremos reducir costos y alargar la vida de las mismas.

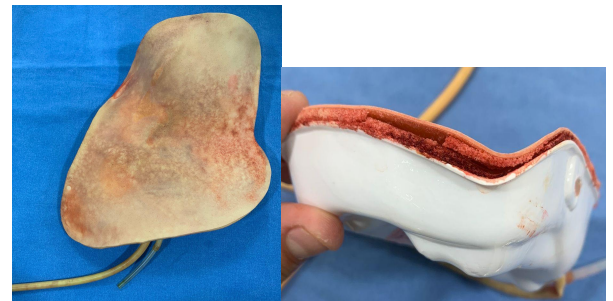


Figura 4: Almohadillas desechables del Centro de Simulación para la Excelencia Clínica y Quirúrgica del IMSS (Elaboración propia, 2023).

El objetivo general de este de este artículo es el rediseño de almohadilla utilizada para entrenador de cateterización venosa central de acceso yugular y subclavio. Con los siguientes objetivos específicos:

- ☐ Caracterizar la almohadilla de cateterización venosa central de acceso yugular y subclavia empleada en el entrenador de tarea de torso intravenoso con el fin de identificar posibles mejoras.
- ☐ Identificar y evaluar diferentes materiales disponibles en el mercado que sean aptos para la fabricación de la almohadilla rediseñada, asegurando que cumplan las especificaciones necesarias.



- Desarrollar un prototipo preliminar de la piel para la almohadilla rediseñada, utilizando los materiales identificados en el objetivo anterior. Este prototipo deberá ser capaz de replicar de manera precisa la anatomía de cateterización venosa central de acceso yugular y subclavio.
- Realizar pruebas para comparar la eficacia y el realismo de los prototipos de la almohadilla rediseñada en comparación con la almohadilla existente.
- Evaluar la facilidad de uso y durabilidad.
- Integrar los comentarios y resultados de las pruebas en el diseño final de la almohadilla de cateterización venosa central de acceso yugular y subclavio.

Planteamiento del problema y justificación.

La cateterización venosa central de acceso yugular y subclavio es una habilidad determinante en la práctica médica. Los simuladores de entrenamiento, como los de la marca Laerdal utilizados en el Centro de Simulación para la Excelencia Clínica y Quirúrgica del IMSS en Yucatán (CESIECQ), desempeñan un papel vital en la formación de profesionales de la salud.

Sin embargo, se han identificado deficiencias en las almohadillas actuales del simulador que pueden afectar la calidad de la formación y la práctica clínica. Estas limitaciones incluyen la representación inexacta de la sensación de piel, lo que afecta la capacidad de los estudiantes para desarrollar

habilidades precisas de cateterización. Además, las almohadillas desechables actuales tienden a desgastarse rápidamente, generando fugas y manchas debido al uso repetido por el costo tan elevado, afectando la consistencia de la experiencia de aprendizaje.

El proyecto surge como una respuesta para mejorar la durabilidad, costos y eficiencia de las almohadillas utilizadas en los simuladores. Se busca optimizar los recursos institucionales al hacer todas las partes de la almohadilla desmontables y reemplazables de manera individual. Esta reestructuración no solo reducirá la carga financiera significativa que actualmente representan las almohadillas desechables, sino que también mejorará la calidad de los talleres de formación.

La importancia de este rediseño radica en su capacidad para reducir los costos de insumos importados y mejorar la calidad de los talleres. La introducción de una piel mejorada que evite eficazmente derrames y fugas utilizando productos de la marca Smooth-On, como Ecoflex, Soama Foami y Dragon Skin, garantizará la optimización de recursos y la calidad de la formación impartida. Y serán establecidas pautas para la elaboración de estas refacciones lo que garantizará la calidad uniforme de los recursos, promoviendo la eficiencia en la gestión institucional de los mismos.

El CESIECQ no solo es un espacio educativo, sino que replica escenarios reales de unidades médicas de los tres niveles de atención en Yucatán. La introducción de almohadillas reutilizables

mejoradas aprovechará al máximo los entrenadores de tarea, proporcionando a estudiantes y profesionales de la salud una herramienta esencial para adquirir conocimiento. Esto facilitará la evaluación del progreso, identificación de áreas de mejora y garantizará la seguridad del paciente.

Para asegurar la efectividad del proyecto, se planea adquirir moldes que permitan abordar defectos potenciales y obtener refacciones de manera inmediata y a menor costo. Esto brindará a los ingenieros biomédicos una herramienta esencial para una capacitación efectiva del personal de salud y contribuirá significativamente a la calidad de la simulación clínica y quirúrgica en el CESIECQ.

Materiales y métodos. Para poder realizar el diseño de la almohadilla reutilizable el diseño metodológico para el presente proyecto se planteó en cinco etapas de acuerdo con los objetivos específicos planteados anteriormente, que incluye la construcción del modelo físico, la revisión de las características de la piel, músculo, clavícula, base y de materiales para los tubos. Cada etapa, se divide a su vez en diferentes actividades, que en conjunto han constituido el cumplimiento de los objetivos planteados para desarrollar el modelo físico, con el cual se realizarán pruebas de punción sobre los materiales y finalmente se realizarán pruebas de percepción del modelo con los instructores del Centro de Simulación y pasantes de medicina.

Este diseño metodológico se encuentra resumido en el siguiente esquema mostrado en la **figura 5**, y es

descrito a detalle más adelante. En esta sección describen paso a paso los métodos que emplearán para realizar el proyecto.

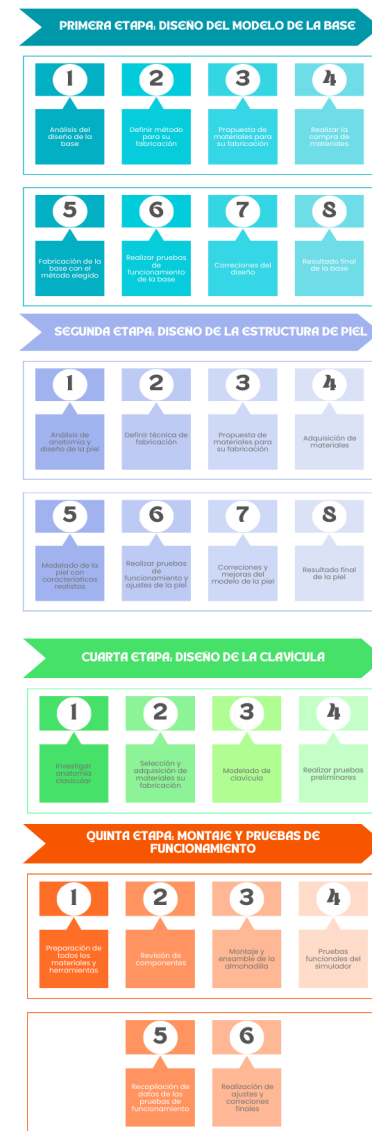


Figura 5: Esquema de la metodología de trabajo para este proyecto. (Elaboración propia, 2023).

La almohadilla original fue obtenida del Centro de Simulación para la Excelencia Clínica y Quirúrgica



del IMSS sede Yucatán. El desarrollo de este prototipo se llevará a cabo en el centro de innovación de la Universidad Modelo en colaboración con instructores del Centro de Simulación del IMSS, con el objetivo de utilizar el modelo en sus instalaciones para la formación en simulación clínica y quirúrgica. Nuestro modelo busca solucionar la ineficiencia de estas almohadillas y así permitir una reproducción económica de las mismas, para que no se interrumpa la impartición de estos cursos.

PRIMERA ETAPA

1. Diseño del modelo de la base.

1.1. Análisis de diseño.

Para poder recrear la base del diseño existente se analizará la estructura y el material utilizado en la almohadilla original para poder idear una alternativa de fabricación. Basados en esta investigación se generará la identificación de la ineficacia de este polímero.

1.2. Definir método para su fabricación.

Llevaremos a cabo una investigación acerca de todos los métodos posibles para construir la base y comparar necesidades existentes. En este caso se elaborará por medio de termoformado, el cual es un método por el cual los productos se forman a partir de láminas de plástico ablandadas, esta lámina de plástico se calienta a un rango de temperatura donde se convierte suave o flexible. Y luego se estira contra una superficie de molde frío. Cuando la

hoja se enfría hasta el punto en que conserva la forma del molde, la hoja y la parte formada se retiran del molde y el exceso de plástico se recorta. [13].

1.3. Propuesta de materiales para su fabricación.

Para elaborar la base mediante termoformado necesitaremos los siguientes materiales:

- Resina epóxica
- Yeso
- Tereftalato de polietileno o acetato

1.4. Realizar la compra de materiales

Después de realizar las cotizaciones pertinentes, se pedirá el material en el lugar que nos ofrezca mejor precio y también que tengan la disponibilidad de estos de manera inmediata para cumplir con nuestros tiempos de elaboración.

1.5. Fabricación de la base con el método elegido.

Debido a que el polímero de la base original es muy frágil se creará una base de resina epóxica para no maltratar la base. Utilizaremos una porción de resina por el 1% de catalizador, según Ruiz *et al* (2011) se dejará secar aproximadamente 1 hora para evitar imperfecciones, y tener una mejor calidad del trabajo, tomando en cuenta el tamaño del objeto. Una vez secada completamente, se despegará la

base elaborada de resina epóxica de la base original para proceder al siguiente paso [11].

Para obtener el molde que se usará en la máquina de termoformado tendremos que rellenar nuestra base de resina epóxica con yeso, la dejaremos secar y desprendemos la base del yeso y esta estructura la usaremos para el termoformado.

Después de tener ya nuestra estructura de yeso, procedemos a realizar nuestro molde con la máquina de termoformado. Para llevar a cabo este molde necesitamos nuestra hoja de acetato o tereftalato de polietileno, colocaremos en la base de la máquina nuestra estructura de yeso. Cuando esté caliente la placa de arriba procederemos a bajarla hacia la estructura de yeso para que la hoja de plástico agarrare la forma de la estructura, esperaremos a que se enfríe y desmoldamos.

1.6. Realizar pruebas de funcionamiento de la base.

Para saber si nuestra base es efectiva con ese grosor de plástico, lo obtendremos al momento de desmoldar si rompe o se cuartea tomaremos nota, por otra parte, si con el paso de los días se agrieta tendremos que anotar todas las

observaciones para tomarlas en cuenta para las correcciones finales.

1.7. Correcciones del diseño.

1.8. Resultado final de la base.

SEGUNDA ETAPA

2. **Diseño del modelo de piel.**

2.1. Análisis de anatomía y diseño de la piel.

Investigar la anatomía de la región yugular para comprender la estructura de la piel y las capas subyacentes. Para familiarizarse con las características específicas de la piel en esta área, como la textura, color y elasticidad.

2.2. Definir técnica de fabricación.

Investigar los distintos métodos para fabricar piel y elegir el que más se adapte tanto al presupuesto como a la facilidad de obtención de los materiales.

En este caso se usará el material de silicona a base de platino, lo cual nos permitirá representar las capas que nosotros deseemos [1, 6, 16].

2.3. Propuesta de materiales para su fabricación.

Para las diversas capas de la piel, utilizaremos los siguientes materiales:

- Dragon Skin
- Soama Foami



- Ecoflex
- Ligas para torniquete

2.4. Adquisición de materiales.

Se solicitarán todos estos materiales en la industria de plastiformas, dependiendo totalmente de la disponibilidad de los materiales y los tiempos de envío.

2.5. Modelado de la piel con características realistas.

Para modelar la piel, usaremos un molde rectangular de 30 cm por 20 cm, con un grosor de aproximadamente de 5 cm, mezclaremos los dos materiales de Dragon Skin, una porción del de nuestro tubo A y una porción de nuestro tubo B. Lo moldearemos por un tiempo menor a 20 minutos y después de obtener la forma deseada dejaremos curar por 5 horas aproximadamente. Una vez curado nuestra primera capa sobre esa en un recipiente más profundo colocaremos las mezclas de Soama Foami y repetiremos mezclar una porción del tubo A y, una porción de nuestro tubo B, posteriormente dejaremos curar aproximadamente por 1 hora. Por último, repetiremos el mismo procedimiento con el Ecoflex mezclando las porciones de cada uno de los tubos sobre nuestra piel curada, y sobre esas dos capas para crear la tercera y dejaremos secar 4 horas y nuestra piel de tres capas estará lista. Una vez lista la piel

cortaremos nuestras 2 ligas de torniquete de 30 cm que se usarán posteriormente [7, 10, 12].

2.6. Realizar pruebas de funcionamiento y ajustes de la piel.

Se realizarán pruebas con profesionales de la salud para obtener comentarios sobre el realismo y la utilidad de la piel que se emplea en la almohadilla. Se harán ajustes según sea necesario para mejorar la piel simulada.

2.7. Correcciones y mejoras del modelo de la piel.

2.8. Resultado final de la piel.

TERCERA ETAPA

3. **Diseño del músculo.**

3.1. Investigar anatomía muscular de la región yugular y subclavia.

Se investigará la anatomía de las regiones yugular y subclavia para comprender las estructuras y profundidades involucradas. Y poder conocer la ubicación precisa de las venas y arterias de esta área.

3.2. Propuesta y adquisición de materiales para su fabricación.

De acuerdo a las investigaciones realizadas se tiene pensado en usar silicona y látex líquido, claramente asegurándose de que los materiales sean

hipoalergénicos y seguros para el contacto con la piel [15].

3.3. Modelado del músculo.

Para realizar el modelado del músculo original se hará un molde con silicona para después usar este molde y rellenarlo de látex y así obtener múltiples músculos en un tiempo corto.

3.4. Realizar pruebas preliminares.

Se realizarán estas pruebas de funcionamiento tan pronto como el montaje esté completo.

CUARTA ETAPA

4. **Diseño de la clavícula**

4.1. Investigar anatomía clavicular.

Realizar un análisis detallado de la anatomía de la clavícula y su relación con las venas yugular y subclavia. Para poder conocer la forma, tamaño y posición de la clavícula en el contexto anatómico [4].

4.2. Selección y adquisición de materiales para su fabricación.

Se optará por utilizar el modelado en 3D, por lo que necesitaremos:

- Computadora
- Software "Fusion 360"
- Impresora 3D
- Filamento PLA

4.3. Modelado de clavícula.

Para obtener el diseño de la clavícula utilizaremos Fusion 360 para diseñar en 3D esta estructura y posteriormente imprimirla con el filamento de PLA.

4.4. Realizar pruebas preliminares.

QUINTA ETAPA

5. **Montaje y pruebas de funcionamiento del prototipo**

5.1. Preparación de todos los materiales y herramientas.

5.2. Revisión de componentes.

5.3. Montaje y ensamble de la almohadilla.

5.4. Pruebas funcionales del simulador.

5.5. Realización de ajustes y correcciones finales.

5.6. Recopilación de datos de las pruebas de funcionamiento.

Resultados previos. Durante la elaboración de nuestra refacción para el entrenador de tarea hemos obtenido una muestra de piel como alternativa mostrada en la **figura 6**. Sin embargo, esta muestra deficiencias en la textura destacando que fue elaborada con materiales de bajo costo como una prueba inicial. El costo de producción para nuestro molde fabricado es de \$80.00 mx.



Figura 6: Elaboración de primera prueba para piel sintética hecha con glicerina y grenetina.
(Elaboración propia, 2023).

Por otro lado, se ha obtenido el diseño 3D de la clavícula realizada en fusión 360 y su impresión de manera física mostrada en la **figura 7** con un costo aproximado de \$50.00 mx.



Figura 7: Modelo impreso de la clavícula.
(Elaboración propia, 2023).

Conclusiones y perspectivas. El rediseño de la almohadilla pretende modificar la actual agregando botones o clips para poder separar la piel de la base, ayudando a remplazar tanto partes externas como internas individualmente, sin necesidad de tener que desperdiciar partes funcionales. Esta nueva almohadilla desmontable se espera que dure un 50% más que las actuales que son desechables y que se use en los talleres proveyendo practicas 100% satisfactorias.

Las partes realizadas hasta ahora de almohadilla hablando de la piel, existen inconsistencias aún debido a que no logra replicar la sensación de la piel, por otro lado, el color no se adhirió de la manera esperada quedando casi transparente. Sin embargo, el diseño de la clavícula basándose en el original cumple totalmente con las características deseadas y se asimila a la forma real anatómica.

Referencias.

- [1]. Baillie, S., Christopher, R. C., Catterall, A., Kruidenberg, A., Lawrenson, K., Wonham, K., Kilfeather, P., & Warman, S. M. (2020). Comparison of a silicon skin pad and a tea towel as models for learning a simple interrupted suture. *Journal of Veterinary Medical Education*, 47(4), 516-522. <https://doi.org/10.3138/jvme.2018-0001>
- [2]. Bradley, P. A. (2016). The history of simulation in medical education and possible future directions. *Medical Education*, 40(3), 254-262. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02394.x>



- [3]. Buggedo, G., & Castillo, L. (2016). Medicina Intensiva: fisiopatología y clínica. *Cateterización venosa central y accesos vasculares*, 135-142. ISBN: 9789562203784
- [4]. Castaño Vanegas, L. (2022). *Simulador para entrenamiento en punción lumbar*. Antioquia Colombia.
<https://repository.eia.edu.co/handle/11190/5799>
- [5]. Dávila-Cervantes, A. (2014). Simulación en educación médica. *Investigación en Educación Médica*, 3(10), 100-105.
[https://doi.org/10.1016/s2007-5057\(14\)72733-4](https://doi.org/10.1016/s2007-5057(14)72733-4)
- [6]. Fernandes, P. M., Uribe, G. A., & Matta, C. L., & Perez, A. (2023). Diseño de un novedoso modelo de bajo costo para el entrenamiento de habilidades en el paso de catéteres venosos centrales, con guía ecográfica. *Revista Española de Educación Médica. Universidad de Murcia*.
<https://doi.org/10.6018/edumed.581181>
- [7]. Harris, S. (2020). Silicone Skin Trays: an innovative simulation approach to nurse practitioner skills training. *Clinical Simulation in Nursing*, 49, 28-31. <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2020.05.002>
- [8]. Imigo, G. F., Elgueta, C. A., Castillo, F. E., Celedón, L. E., Fonfach, Z. C., Lavanderos, F. J., & Mansilla, S. E. (2011). Accesos venosos centrales. *Cuadernos de cirugía*, 25(1), 52-58.
<https://doi.org/10.4206/cuad.cir.2011.v25n1-08>
- [9]. Juárez, S. A. Á. Barrón, A. M. G., & López, S. M. (2020). Simulación con paciente estandarizado y simuladores de baja fidelidad (PESIBAF) como primer acercamiento a un paciente en estudiantes de primer año de la carrera de médico cirujano. *Educación Médica*, 21(6), 364-369.
<https://doi.org/10.1016/j.edumed.2018.10.011>
- [10]. Morillo, N., Bravo, N., Prudencio, C., Vassallo, J. C., Ponce, M., Santos, S., & Rodríguez, S. (2016). Simulador de bajo costo para el entrenamiento en la colocación de accesos vasculares periféricos (avp) en pediatría. *Med. infant*, 213-216.
- [11]. Ruiz, N., & Florez, D. A. C. (2011). Resina epóxica en la creación de simuladores del campo arterial para prácticas de paso de catéter y guía. *Cuaderno de investigaciones: semilleros andina*, 4, 12-17.
<https://revia.areandina.edu.co/index.php/vbn/article/download/497/530>
- [12]. Russo, A., Pose, S., Aguiar, G., Ugón, G. J. A., & Olivera, E. (2016). UTILIZACIÓN DE MODELOS SIMULADORES PARA EL ENTRENAMIENTO DE ACCESOS VENOSOS CENTRALES: NUESTRA EXPERIENCIA. Utilización de modelos simuladores para el entrenamiento de accesos venosos centrales: nuestra experiencia. *Revista Argentina de Anatomía Clínica*.
<https://doi.org/10.31051/1852.8023.v6.n1.14092>
- [13]. Throne, J. L. (2008). Understanding thermoforming. En *Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG eBooks*. <https://doi.org/10.3139/9783446418554>
- [14]. Tripathy, S., Mohapatra, D. P., Thiruvoth, F. M., Sharma, R. K., Reddy, L. C., & Thomas, N. (2022). An



innovative skin simulation model to augment competency-based training in facial plastic surgery. *Indian Journal of Plastic Surgery*, 55(01), 102-106.
<https://doi.org/10.1055/s-0041-1740083>

[15]. Vega-Medina, L., Gutiérrez, B. P., & Camargo, L. H. (2016). Modelo de piel, músculo y vena para entrenamiento de punción subclavia en acceso venoso central en pediatría. *Revista Politécnica*, 12(22), 41-50.
<https://www.redalyc.org/journal/6078/607863422005/html/>

[16]. Williams, T., Snyder, C. L., Hancock, K., Iglesias, N. J., Sommerhalder, C., DeLao, S. C., Chacin, A. C., & Perez, A. (2020). Development of a low-cost, high-fidelity skin model for suturing. *Journal of Surgical Research*, 256, 618-622.
<https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.07.051>