



UNIVERSIDAD MODELO

Escuela de Ingeniería

Ingeniería Biomédica

Ciclo Escolar 2024

Octavo Semestre Grupo “A”

Proyectos VIII

Examen Ordinario

Profesor: Ing. Ariana Marilin Sánchez Mutul.

Evaluación final

Alumno:

Castillo Gómez Paola

06 de junio de 2024

ÍNDICE

<i>Resumen</i>	4
<i>Abstract</i>	4
I. Introducción.....	5
II. Planteamiento del problema.....	9
III. Hipótesis	10
IV. Objetivos.....	11
A. Objetivo general.....	11
B. Objetivos específicos	11
V. Materiales y métodos.....	12
VI. Resultados.....	21
VII. Discusión.....	23
VIII. Conclusión	25
IX. Referencias Bibliográficas	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.....	5
Figura 2.....	10
Figura 3.....	12
Figura 4.....	13
Figura 5.....	21
Figura 6.....	22

REDISEÑO DE ALMOHADILLA UTILIZADA PARA ENTRENADOR DE CATETERIZACIÓN VENOSA CENTRAL DE ACCESO YUGULAR Y SUBCLAVIO DE LA MARCA LAERDAL.

Resumen

Los modelos de simulación para el entrenamiento en la colocación de catéteres venosos centrales varían en fidelidad y costo, lo que a menudo limita su accesibilidad. Este estudio aborda la necesidad de crear diseños de bajo costo para facilitar la capacitación de personal de salud. En particular, se centra en el rediseño de una almohadilla utilizada para el entrenamiento de cateterización venosa central en acceso yugular y subclavio, específicamente para los simuladores de la marca Laerdal. Este rediseño tiene como objetivos mejorar la durabilidad, reducir costos y optimizar la experiencia de aprendizaje en el Centro de Simulación para la Excelencia Clínica y Quirúrgica del IMSS en Mérida, Yucatán. La investigación se llevó a cabo en cinco etapas: análisis y diseño de la base, piel, músculo y clavícula, así como el ensamblaje y pruebas del prototipo final. Los resultados muestran que la nueva almohadilla, fabricada con materiales como resina epóxica, silicona y caucho de silicona, cumple con los requisitos de durabilidad yrealismo, ofreciendo una experiencia de simulación más efectiva y económica. Este proyecto no solo proporciona una solución viable y reproducible para la formación de habilidades clínicas, sino que también sienta un precedente para futuras innovaciones en la educación médica mediante simulación.

Abstract

Simulation models for training in central venous catheter placement vary in fidelity and cost, often limiting their accessibility. This study addresses the need to create low-cost designs to facilitate the training of healthcare personnel. Specifically, it focuses on redesigning a pad used for central venous catheterization training via jugular and subclavian access, particularly for Laerdal brand simulators. This redesign aims to improve durability, reduce costs, and optimize the learning experience at the Clinical and Surgical Simulation Excellence Center of IMSS in Mérida, Yucatán. The research was conducted in five stages: analysis and design of the base, skin, muscle, and clavicle, as well as the assembly and testing of the final prototype. Results show that the new pad, made with materials such as epoxy resin, silicone, and silicone rubber, meets the requirements for durability and realism, offering a more effective and economical simulation experience. This project not only provides a viable and reproducible solution for clinical skills training but also sets a precedent for future innovations in medical education through simulation.

I. Introducción

1. Fundamentos de la Cateterización Venosa

La cateterización venosa es un procedimiento esencial en la práctica médica que implica la inserción de un catéter biocompatible en el sistema vascular, ya sea en espacios intravasculares centrales o periféricos, con el propósito de facilitar la administración de fluidos, medicamentos, nutrición parenteral y la monitorización de constantes fisiológicas, todo ello con fines diagnósticos. Existen diversas ubicaciones posibles para acceder al sistema venoso, como las venas periféricas, como la vena antecubital o safena, y las venas centrales, como la vena yugular interna o femoral. Cada sitio de inserción tiene sus propias ventajas y consideraciones importantes. Por ejemplo, la vena femoral es la vía más fácil, rápida y con gran tasa de éxito, sin riesgo de grandes lesiones vasculares, sin embargo, se asocia a una alta tasa de infección, por lo cual se recomienda su uso en forma transitoria o como última opción. En contraste la vena yugular interna se caracteriza por ser de fácil acceso y tener un bajo riesgo de fallos cuando se realiza por operadores sin experiencia. Por otro lado, la vena subclavia se destaca por su facilidad de mantenimiento y comodidad, con una baja tasa de infección, aunque existe el riesgo de causar un neumotórax y cierta dificultad en la compresión en caso de sangrado [1].

La inserción de una línea venosa central, especialmente a través de la vena subclavia es de elección para la mantención prolongada de un catéter central, por su comodidad y menor riesgo de infecciones. De este modo, la posibilidad de infección, la comodidad del paciente y la facilidad en la fijación y curaciones pasan a ser los factores principales en la decisión de la vía de abordaje. Así mismo la vena yugular, ofrece un acceso directo a la vena cava superior, siendo más simple para permitir el paso de catéteres de grueso calibre o para uso perioperatorio por su alto flujo. Resultando ser una buena alternativa en pacientes con trastornos de la coagulación ya que no existe riesgo de punción arterial y la zona es fácilmente comprimible [2].

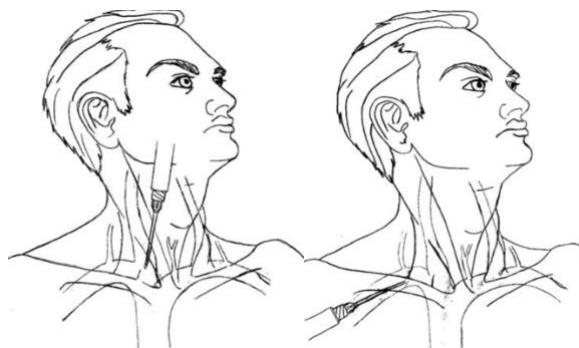


Figura 1: Sitos de punción de la vena yugular y subclavia.

2. Importancia de la Simulación en la Capacitación Médica

Para capacitar al personal de salud para realizar este tipo de procedimientos existen diversos métodos de enseñanza, uno de ellos es con apoyo de la simulación clínica, la cual ofrece una herramienta educativa con la que se favorece la adquisición de ciertas habilidades técnicas y competencias necesarias para el cuidado de la salud.

Favoreciendo la enseñanza que a diferencia del modelo tradicional, que los alumnos durante el entrenamiento clínico con pacientes reales, los alumnos deben de estar continuamente supervisados para evitar que cometan errores y corregirlos de manera inmediata, esto con el fin de cuidar la integridad y seguridad del paciente; a diferencia dentro de una simulación, los errores son permitidos por el instructor, con el fin de que el alumno aprenda de las consecuencias de su error, rectifique y vuelva a realizar el procedimiento de manera correcta, reforzando así sus conocimientos. [3].

3. Innovación y Transformación en Simuladores Médicos

El inicio de la era contemporánea de la simulación médica se encuentra en la segunda mitad del siglo XX, marcada por tres movimientos clave que impulsaron su evolución. El primero de estos movimientos se origina en el trabajo de Asmund Laerdal, quien colaboró estrechamente con médicos anestesiólogos y una empresa dedicada a la fabricación de juguetes para desarrollar un simulador de reanimación cardiopulmonar llamado "Resusci Anne". Este simulador, a pesar de su costo accesible, demostró ser altamente efectivo en la mejora de habilidades psicomotoras [4].

El segundo movimiento está relacionado con la simulación moderna y se centra en la creación de simuladores que replican de manera más precisa las características físicas de los pacientes. Da lugar a la introducción del simulador SIMoneTM, desarrollado por Abrahamson y Denson a finales de la década de 1960 en la Universidad de Harvard. Este simulador se destacó por su capacidad para emular ruidos respiratorios, sonidos cardíacos y pulsos carotídeos y temporales sincronizados, además de ofrecer respuestas fisiológicas en tiempo real gracias a un programa informático [4].

El tercer movimiento es parte de la reforma educativa global, ya que uno de los aspectos fundamentales de esta reforma es la adopción de nuevas estrategias de enseñanza que aprovechan las últimas tecnologías para mejorar la formación en habilidades clínicas y de comunicación en todos los niveles de la educación médica, desde pregrado hasta posgrado y la educación médica continua [4]. Hoy en día, el uso de simuladores es una realidad gracias a los avances tecnológicos y la incorporación de conceptos clave de la teoría de la educación médica en su diseño y aplicación.

Como menciona el artículo "*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*" se ha demostrado que más del 90% de los estudiantes tiene una respuesta favorable a través de actividades realizadas mediante simulación clínica [5].

Existen diversos simuladores para procedimientos quirúrgicos que ayudan a llevar a cabo la práctica médica. Según Tripathy *et al.* (2022), se emplea una espuma adhesiva bicapa de poliuretano como material para replicar la textura de la piel humana. Este innovador enfoque se utiliza como un novedoso modelo de simulación para estudiar la biomecánica de los colgajos cutáneos y perfeccionar las técnicas relacionadas con los mismos. Además, el estudio subraya que un modelo de simulación de piel ideal para aplicaciones quirúrgicas debe cumplir con varios criterios esenciales. En primer lugar, debe poseer propiedades viscoelásticas que reflejen de manera precisa la respuesta de la piel normal. También debe presentar un color similar al de la piel natural, ser inodoro y de fácil disponibilidad. Además, es importante que no requiera condiciones especiales de almacenamiento y que sea asequible. Buscando minimizar la generación de residuos o desorden durante su manipulación y, por último, es fundamental que no plantea cuestiones éticas ni legales.

Por otro lado, Williams *et al* (2020), desarrolla una almohadilla innovadora destinada al entrenamiento de procedimientos en fasciotomía y cierre fascial. Esta almohadilla se confeccionó utilizando materiales avanzados como Soma Foami, la Serie Dragon Skin (un caucho de silicona) y Ecoflex. Lo que distingue a esta almohadilla de otras disponibles en el mercado es su capacidad para simular de manera excepcional las capas de la piel, incluyendo la epidermis, la dermis y la grasa subcutánea. Lo más destacado de esta almohadilla de simulación es su versatilidad. Los investigadores pueden personalizarla mediante la combinación de estos materiales para crear modelos que representen de manera más precisa diversas estructuras de tejidos blandos. Por ejemplo, es posible adaptarla para excluir las capas de grasa subcutánea, fascia y músculo, dejando únicamente las capas dérmicas y epidérmicas. Esto no solo mejora la precisión de la simulación, sino que también resulta en una reducción significativa en los costos de material asociados [7].

Así mismo, en Harris (2020), se centra en la implementación de bandejas de silicona que simulan la piel como una estrategia clave en la formación de habilidades relacionadas con suturas y curaciones. El autor destaca la transición de la tradicional piel utilizada en los simuladores hacia Dragon Skin, una silicona meticulosamente diseñada para reproducir la textura de la piel humana de manera eficiente y económica. Estas bandejas de silicona Dragon Skin fueron concebidas con el objetivo principal de enriquecer la experiencia de aprendizaje de los estudiantes de enfermería en formación, al mismo tiempo que el proceso de fabricación es rápido, dando la oportunidad de obtener muchas bandejas en un corto periodo de tiempo. [8].

4. La Educación a través de la Simulación Clínica

Para impartir los talleres de cateterización venosa central de acceso yugular o subclavio existen simuladores de baja fidelidad y entrenadores de tarea que ayudan a qué estudiantes del área

de la salud y profesionales del área de salud adquieran las habilidades necesarias para llevar a cabo este procedimiento de manera segura y efectiva. Estos simuladores ofrecen un entorno controlado que permite a los participantes practicar la inserción del catéter en el acceso yugular y subclavia, familiarizándose con la anatomía específica y desarrollando destrezas técnicas clave [9].

En el mercado se encuentran distintos simuladores y entrenadores de tareas que permiten realizar este tipo de prácticas, uno de ellos es de la marca Laerdal. El modelo torso IV de Laerdal permite la práctica de técnicas de acceso intravenoso tanto para soporte vital cardiaco avanzado como para trauma, entregadas por organizaciones de todo el mundo. El Torso IV está diseñado específicamente para cumplir con los objetivos educativos clave de los programas de entrenamiento [10].

Por otro lado, este producto permite a los estudiantes experimentar procedimientos realistas, al igual que las áreas para el acceso intravenoso son simuladas por almohadillas suaves. Estas están cubiertas por una piel realista, que simula la sensación de la piel humana lo más cerca posible, y las venas simuladas dentro de las almohadillas proporcionan una resistencia natural durante la punción y una sensación natural del retorno de sangre cuando se retira la aguja, tanto las venas como la piel se sellan automáticamente para que el sitio de la punción no sea visible para el siguiente estudiante.

Además, el torso IV de Laerdal permite la práctica del acceso intravenoso a: la vena yugular externa, la vena yugular interna a través del abordaje anterior, central y posterior, la vena subclavia y la vena femoral. Al igual que incluye una perilla de pulso que permite al instructor crear un pulso palpable en las arterias del maniquí y nos permite que los catéteres largos se puedan colocar en el modelo de entrenamiento, contiene una simulación realista de tejidos, tanto la almohadilla para el cuello que abarca la vena yugular y subclavia, como la almohadilla femoral son reemplazables y las almohadillas se pueden reemplazar sin el uso de ninguna herramienta.

II. Planteamiento del problema

Durante la formación médica y la práctica clínica, la cateterización venosa central de acceso yugular y subclavio emerge como una intervención crítica en diversas situaciones clínicas, incluyendo procedimientos quirúrgicos, cuidados intensivos y tratamiento de pacientes críticos. Este procedimiento implica la inserción de un catéter en una vena central a través de la región yugular y subclavia, siendo una habilidad esencial que los profesionales de la salud deben adquirir y dominar. El uso de entrenadores de torso intravenoso, especialmente los de la marca Laerdal, desempeña un papel fundamental en la simulación de procedimientos intravenosos, proporcionando una experiencia de aprendizaje esencial para médicos, enfermeras y otros profesionales de la salud.

El Centro de Simulación para la Excelencia Clínica y Quirúrgica del IMSS en el estado de Yucatán (CESIECQ) ha destacado por su compromiso con la mejora continua de la formación médica y, en particular, de la simulación clínica. Sin embargo, surge la necesidad de abordar y resolver un problema relacionado con la almohadilla actual utilizada en el simulador de cateterización venosa central de acceso yugular y subclavio de la marca Laerdal. Este problema involucra deficiencias que afectan la calidad de la formación y la práctica clínica de estudiantes y profesionales de la salud.

Las deficiencias actuales incluyen la falta de representación precisa de la sensación de piel por parte de la almohadilla, limitando la capacidad de los estudiantes para desarrollar habilidades precisas de cateterización. Además, al ser desechable y de un solo uso, la almohadilla tiende a desgastarse rápidamente, provocando que se despegue debido a la humedad. Esto genera fugas y manchas en la piel simulada, creando un sesgo que afecta la realidad durante la impartición del taller y resulta en un costo continuo de reemplazo y una experiencia de aprendizaje inconsistente.

El presente proyecto surge como respuesta a la necesidad de mejorar la durabilidad, costos y eficiencia de las almohadillas empleadas en los entrenadores de tareas para cateterización venosa central de acceso yugular y subclavio. Actualmente, el uso recurrente de estas almohadillas desechables genera una carga financiera significativa y agota recursos institucionales. El rediseño propuesto busca optimizar estos recursos al hacer que todas las partes de la almohadilla sean desmontables y reemplazables de manera individual.

La introducción de botones para separar la piel de la base y la sustitución individual de las partes internas garantizará la funcionalidad óptima de los entrenadores de tareas, favoreciendo los talleres impartidos por los profesores del CESIECQ. La importancia de rediseñar estas almohadillas reutilizables radica en su capacidad para reducir los costos de insumos importados y mejorar la calidad de los talleres. La introducción de una piel mejorada utilizando productos de la marca Smooth-On, como Ecoflex, Soama Foami y Dragon Skin, no solo disminuirá los gastos, sino que también mejorará la calidad de la simulación.

Además, este proyecto establecerá pautas para la elaboración de estas refacciones para los entrenadores de tareas, asegurando procesos uniformes, calidad óptima y eficiencia en la gestión de recursos institucionales. Los Centros de Simulación para la Excelencia Clínica y Quirúrgica (CESIECQ) del IMSS en Ciudad de México, Guadalajara y Mérida, Yucatán, son espacios educativos que emplean la simulación clínica mediante simuladores de alta y baja tecnología y entrenadores de tareas. En Mérida, Yucatán, se ofrecen cursos de capacitación que replican escenarios reales de unidades médicas de los tres niveles de atención, proporcionando un entorno seguro para practicar y mejorar habilidades.

La figura de los ingenieros biomédicos desempeña un papel fundamental en la calidad de la simulación clínica y quirúrgica, verificando que los simuladores funcionen correctamente. Para lograr estos objetivos, se planea adquirir moldes que permitan abordar cualquier defecto potencial y obtener refacciones de manera inmediata y a un menor costo de adquisición. La introducción de almohadillas reutilizables mejoradas permitirá aprovechar al máximo los entrenadores de tarea y proporcionará a los ingenieros biomédicos una herramienta esencial para una capacitación efectiva del personal de salud.



Figura 2: Almohadillas desechables del Centro de Simulación para la Excelencia

III. Hipótesis

Se incrementará la durabilidad de la almohadilla que forma parte del sistema de entrenamiento de la marca Laerdal en un 50% y con esto la efectividad de la misma, a través del rediseño e incorporación de nuevos materiales que la harán y ayudarán a prevenir el derrame y la fuga de sangre simulada.

IV. Objetivos

A. Objetivo general

Rediseñar una almohadilla reutilizable de alta calidad para cateterización venosa central de acceso yugular y subclavio incrementando su durabilidad a un 50% más que la original, destinada a ser utilizada en entrenadores de tarea de torso intravenoso de la marca Laerdal aplicada en talleres dentro del Centro de Simulación para la Excelencia Clínica y Quirúrgica del IMSS, sede Mérida, Yucatán (CESIECQ).

B. 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.

V. 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 basados en un diseño esquemático preliminar para visualizar de manera general lo que se necesita realizar (*Figura 3*), que incluyó 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 dividió 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 realizaron pruebas de punción sobre los materiales y finalmente se realizó pruebas de percepción del modelo con los instructores del Centro de Simulación y pasantes de medicina.

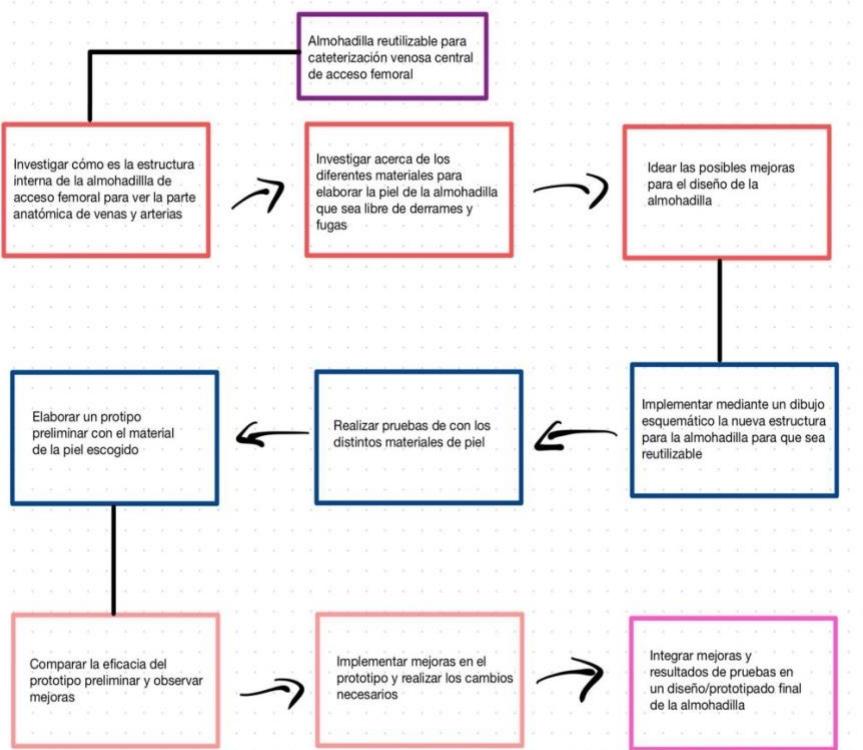


Figura 3: Diseño esquemático preliminar. (Elaboración propia, 2023).

Este diseño metodológico se encuentra resumido en el siguiente esquema (*Figura 4*), y es descrito a detalle más adelante.

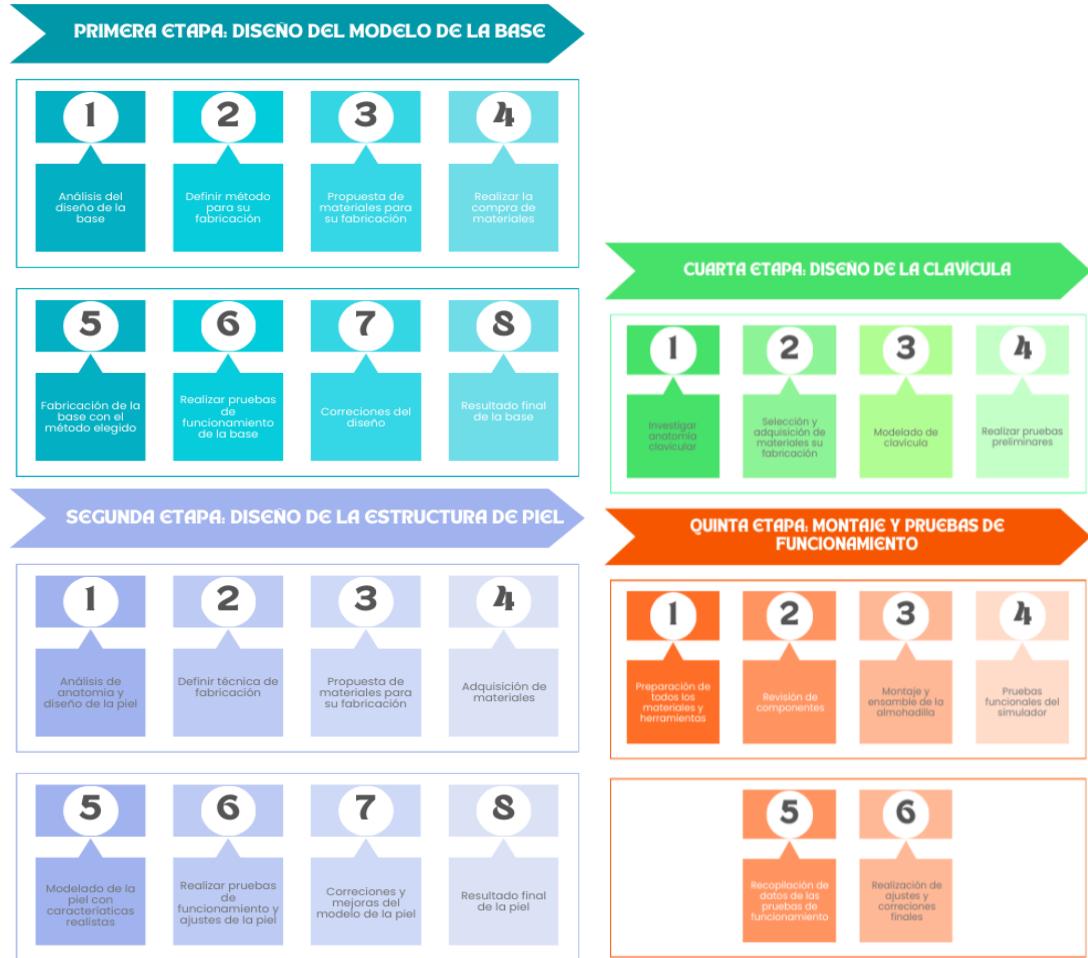


Figura 4: Esquema de la metodología de trabajo para este proyecto. (Elaboración propia, 2023).

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 llevó 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 inefficiencia 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 analizó la estructura y el material utilizado en la almohadilla original para poder idear una alternativa de fabricación. Basados en esta investigación se generó la identificación de la ineeficacia de este polímero.

1.2. Definir método para su fabricación.

Se llevó a cabo una investigación acerca de todos los métodos posibles para construir la base y comparar necesidades existentes. En este caso se elaboró por medio de termoformado, el cual es un método por el cual los productos se forman a partir de láminas de plástico blandadas, 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 enfriá 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. [9].

1.3. Propuesta de materiales para su fabricación.

Para elaborar la base mediante termoformado se necesitaron de 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 pidió el material en el lugar que nos ofrecía mejor precio y verificamos 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 creó una base de resina epóxica para no maltratar la base. Utilizamos una porción de resina por el 1% de

catalizador, según Ruiz *et al* (2011) se dejó 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 despegó la base elaborada de resina epoxica de la base original para proceder al siguiente paso [10].

Para obtener el molde que se usó en la máquina de termoformado en la que tuvimos que llenar nuestra base de resina epoxica con yeso, la dejamos secar y desprendimos la base del yeso y esta estructura fue el molde utilizado para el termoformado.

Después de haber tenido nuestra estructura de yeso lista, procedimos a realizar nuestro molde utilizando la máquina de termoformado. Para llevar a cabo este proceso, necesitamos nuestra hoja de acetato o tereftalato de polietileno. Colocamos nuestra estructura de yeso en la base de la máquina y, cuando la placa superior se calentó, la bajamos hacia la estructura de yeso para que la hoja de plástico adoptara la forma de la estructura. Esperamos a que se enfriara y luego procedimos a desmoldar.

1.6. Realizar pruebas de funcionamiento de la base.

Para determinar la efectividad de nuestra base con ese grosor de plástico, evaluamos su resistencia al desmoldar, tomando nota de cualquier ruptura o cuarteamiento. Además, registramos observaciones sobre posibles agrietamientos con el paso de los días, anotando todas las observaciones relevantes para considerarlas en 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.

Se llevó a cabo una investigación detallada sobre la anatomía de la región yugular para comprender la estructura de la piel y las capas subyacentes. Se buscó familiarizarse con las características específicas de la piel en esta área, prestando atención a la textura, color y elasticidad. La revisión incluyó aspectos como la composición de la epidermis, dermis e hipodermis, así como la presencia y función de los vasos sanguíneos, en particular las venas yugulares. Se obtuvo una comprensión más completa de la fisiología de la región yugular, proporcionando información valiosa para futuros estudios clínicos o procedimientos médicos.

2.2. Definir técnica de fabricación.

Se llevó a cabo una investigación exhaustiva sobre los diversos métodos para fabricar piel, con el objetivo de seleccionar la opción más adecuada tanto en términos de presupuesto como de facilidad de obtención de materiales. Tras analizar diferentes alternativas, se optó por utilizar el material de silicona a base de platino. Esta elección permitió representar de manera efectiva las capas deseadas, ofreciendo flexibilidad y versatilidad en la creación de piel artificial. El proceso de selección se basó en consideraciones prácticas y económicas, asegurando que la elección del material esté alineada con los objetivos y recursos disponibles para el proyecto. [7, 11, 12].

2.3. Propuesta de materiales para su fabricación.

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

- Dragon Skin
- Soama Foami
- Ecoflex
- Ligas para torniquete

2.4. Adquisición de materiales.

Todos estos materiales fueron solicitados a la industria de plastiformas, dependiendo completamente de la disponibilidad de los materiales y los tiempos de envío. La gestión de la solicitud se llevó a cabo cuidadosamente, asegurando que se obtuvieran los recursos necesarios para el proyecto. La elección de depender de la disponibilidad y tiempos de envío se basó en consideraciones prácticas y logísticas, garantizando

que los materiales estuvieran listos y disponibles para su uso en el momento necesario.

2.5. Modelado de la piel con características realistas.

Para modelar la piel, se utilizó un molde rectangular de 30 cm por 20 cm con un grosor de aproximadamente 5 cm. Se procedió a mezclar los dos materiales de Dragon Skin, tomando una porción del tubo A y otra del tubo B. El moldeo se realizó en un lapso inferior a 20 minutos, y después de obtener la forma deseada, se dejó curar durante aproximadamente 5 horas. Una vez que la primera capa se curó, se colocaron las mezclas de Soama Foama en un recipiente más profundo, repitiendo el proceso de mezcla con una porción del tubo A y otra del tubo B. Posteriormente, se permitió que esta capa cure durante aproximadamente 1 hora.

Finalmente, se repitió el procedimiento con Ecoflex, mezclando las porciones de cada uno de los tubos sobre la piel ya curada y sobre las dos capas anteriores para crear la tercera. Se dejó secar durante 4 horas, y la piel de tres capas quedó lista. Una vez finalizado el proceso, se cortaron las dos ligas de torniquete de 30 cm que se utilizarían posteriormente [8, 13,14].

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

Se llevaron a cabo pruebas con profesionales de la salud para obtener comentarios sobre el realismo y la utilidad de la piel utilizada en la almohadilla. Se realizaron ajustes según fuera necesario para mejorar la simulación de la piel, teniendo en cuenta las observaciones y sugerencias proporcionadas por los profesionales. Este proceso de retroalimentación y ajuste se llevó a cabo con el objetivo de optimizar la calidad y la funcionalidad de la piel simulada, asegurando que cumpliera con los estándares deseados y se adaptara de manera efectiva a las necesidades de los profesionales de la salud.

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 realizó una investigación detallada sobre la anatomía de las regiones yugular y subclavia con el objetivo de comprender las estructuras y profundidades involucradas. Se buscó obtener un conocimiento preciso de la ubicación de las venas y arterias en estas áreas, lo que incluyó estudiar la disposición de los tejidos circundantes, la musculatura y otras características anatómicas relevantes. Esta investigación proporcionó información valiosa para mejorar la comprensión de la vascularización en estas regiones, lo cual es fundamental para procedimientos médicos y evaluaciones clínicas precisas.

3.2. Propuesta y adquisición de materiales para su fabricación.

Basándose en las investigaciones realizadas, se decidió utilizar silicona y látex líquido en el proyecto, asegurándose de seleccionar materiales hipoalergénicos y seguros para el contacto con la piel. Esta elección se fundamenta en la búsqueda de materiales que no solo cumplan con los requisitos técnicos del proyecto, sino que también garanticen la seguridad y la comodidad en su aplicación en la piel. La consideración de la hipoalergenicidad es esencial para minimizar posibles reacciones cutáneas adversas, asegurando así la idoneidad de los materiales para su uso en contextos médicos o similares. [15].

3.3. Modelado del músculo.

En la ejecución del modelado del músculo original, se llevó a cabo la creación de un molde utilizando silicona. Posteriormente, se utilizó este molde para verter látex, permitiendo así obtener múltiples reproducciones musculares en un lapso de tiempo reducido. Este enfoque de producción se seleccionó con el propósito de optimizar la eficiencia y la velocidad del proceso, permitiendo la reproducción masiva de músculos de manera consistente y fiel al modelo original. El uso de silicona y látex aseguró la calidad y la flexibilidad necesarias para la reproducción detallada y realista del músculo en cuestión.

3.4. Realizar pruebas preliminares.

Las pruebas de funcionamiento se llevaron a cabo tan pronto como se completó el montaje. Este enfoque permitió evaluar de inmediato la eficacia y el rendimiento del sistema o producto, asegurando que todos los componentes estuvieran integrados adecuadamente y funcionaran según lo esperado. La realización temprana de las pruebas facilitó la identificación y corrección de posibles problemas o ajustes necesarios, garantizando así la calidad y la funcionalidad del producto final.

CUARTA ETAPA

4. Diseño de la clavícula

4.1. Investigar anatomía clavicular.

Se llevó a cabo un análisis detallado de la anatomía de la clavícula y su relación con las venas yugular y subclavia con el objetivo de obtener una comprensión exhaustiva de la forma, tamaño y posición de la clavícula en el contexto anatómico [16].

4.2. Selección y adquisición de materiales para su fabricación.

Se optó por utilizar el modelado en 3D, por lo que utilizamos:

- Computadora
- Software “Fusion 360”
- Impresora 3D
- Filamento PLA

4.3. Modelado de clavícula.

Para obtener el diseño de la clavícula se utilizó el software Fusion 360 para diseñar en 3D esta estructura y posteriormente se imprimió 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.

VI. Resultados

Se presenta la propuesta final realizada con base en las respectivas comprobaciones de los 4 ejes del diseño: función, ergonomía, estética y producción. Lo cual, permite afirmar que el planteamiento de la hipótesis es posible gracias a la almohadilla elaborado para el entrenador de tarea.

El modelo de la almohadilla fue comparado con el original, destacando que la apariencia de la almohadilla reutilizable de piel de caucho de silicona se consideró realista, tanto como la original. Al comparar las propiedades táctiles de cada modelo, se identificaron algunos detalles, sin embargo nuestra piel elaborada de caucho de silicona cumplió exitosamente con el propósito y nuestra almohadilla ya ensamblada cumple perfectamente su función.

El costo del desarrollo de una almohadilla reutilizable varía dependiendo de diferentes factores como lo son el método y materiales para realizar, la base, venas, clavícula y piel.

Referente a los costos, para la base los modelos hechos a base de fomi y yeso resultaron mucho más económicos, en comparación con el modelo realizado con escaneo e impresión 3D fue un poco más costoso y se el proceso de fabricación fue más tardado. Sin embargo el diseño en 3D permite recrearlo de manera más fácil y en menos tiempo (*Figura 5*).



Figura 5: Base de la almohadilla. (Elaboración propia, 2024).

Ahora bien, para la piel existen diferentes materiales de diversos costos que resultan para con la sensación y funcionalidad de cateterización, en nuestro caso el látex líquido y la silicona de caucho cumplen su función y son accesibles para las instituciones y que puedan reproducir el mismo (*Figura 6*).



Figura 6: Propuesta de piel para la almohadilla. (Elaboración propia, 2024).

Los resultados nos permiten concluir que la simulación clínica es una herramienta cada vez más necesaria en el ámbito de la salud. No solo mejora la seguridad del paciente al permitir la práctica y perfeccionamiento de habilidades en un entorno controlado, sino que también contribuye significativamente a la reducción de errores médicos. Sin embargo, se observa una insuficiencia de nuevos modelos económicos alternativos para la formación de habilidades clínicas y quirúrgicas, lo que señala la urgente necesidad de su desarrollo.

Por último, el modelo de almohadilla para la simulación clínica logró demostrar ser una alternativa simple, reproducible y viable para el entrenamiento de habilidades clínicas y quirúrgicas. Se redujeron significativamente los costos, permitiendo la producción del modelo sin necesidad de laboratorios o productos de difícil acceso. Esto permite afirmar que el planteamiento de la hipótesis es posible gracias al entrenador diseñado.

VII. Discusión

Nuestros resultados nos permiten inferir que, en la actualidad, la simulación clínica se vuelve cada vez más necesaria en el mundo de la salud. La simulación no solo mejora la seguridad del paciente al permitir la práctica y perfeccionamiento de habilidades en un entorno controlado, sino que también contribuye significativamente a la reducción de errores médicos. Sin embargo, se ha observado que existe una insuficiencia de nuevos modelos económicos alternativos para la formación de habilidades clínicas y quirúrgicas, lo cual señala la necesidad urgente de su desarrollo.

Los estudios actuales indican que siempre se deben buscar alternativas baratas y viables a los métodos de enseñanza tradicionales [17]. Muchos de estos estudios se han desarrollado para presentar modelos alternativos para las prácticas clínicas y quirúrgicas, dirigidas principalmente al entrenamiento de personal médico en procedimientos como la cateterización. Este enfoque se debe a la gran demanda de estos modelos, ya que la cateterización es un procedimiento común que requiere precisión y habilidad. Además, la creación de estos modelos alternativos no solo tiene el potencial de reducir los costos asociados con la formación, sino que también puede aumentar el acceso a la educación médica de calidad en regiones con recursos limitados.

Por lo tanto, es importante que se invierta en la investigación y desarrollo de nuevas técnicas y herramientas de simulación clínica. Ya que algunos estudios también enfatizan que el uso de modelos de bajo costo puede ser una buena oportunidad para la práctica sin comprometer la adquisición de habilidades y seguridad para realizar procedimientos en un paciente real. Y esto va de la mano que no solo mejorará la capacitación de los profesionales de la salud, sino que también garantizará una mayor equidad en la distribución de recursos educativos, permitiendo a más instituciones y estudiantes beneficiarse de estas innovaciones. En última instancia, esto contribuirá a un sistema de salud más eficiente y eficaz, con profesionales mejor preparados para enfrentar los desafíos clínicos y quirúrgicos del mundo real.

Como se observa en los resultados, se muestra que el caucho de silicona podría imitar adecuadamente la representación de la piel específicamente de la representación espacial de la parte yugular y subclavia, lo que indica que la silicona es un material que presenta excelentes propiedades, ya que es una sustancia que tiene la posibilidad de ser texturizado y teñido para imitar la realidad del tejido.

Por otro lado, en la representación de la base elaborada con resina nos permite ubicar de forma real la anatomía del cuerpo, al igual que sus elementos como lo son el músculo, sus venas y arterias logran que la percepción se asemeje a un entorno real independientemente que sea un nivel de fidelidad bajo en el modelo utilizado. Y a pesar de ser todo de bajo costo, logra el objetivo de ser reutilizable y es cien por ciento desmontable.

Es importante reconocer que el presente estudio tiene algunas limitaciones, entre las que podemos mencionar la ausencia de una evaluación objetiva de la adquisición de habilidades y el rendimiento técnico, además de la ausencia de evaluación de los resultados técnicos del modelo alternativo relacionados con aspectos como la resistencia, la limitación del uso y la durabilidad.

Además, que puede haber existido un sesgo, ya que el modelo ha sido probado en ambientes controlados y sin el entrenador completo. Por lo tanto, las nuevas investigaciones deben realizarse utilizando el modelo original y aplicarlo a largo plazo para obtener una evaluación más precisa y completa.

VIII. Conclusión

De acuerdo con la investigación, se concluye que dar referentes reales de la sensación de lo que es real en el espacio anatómico, propicia un mayor interés en realizar la técnica de la cateterización concientizando qué es lo que debe de buscar al toque.

La hipótesis planteada permitió poder incrementar su uso ya que resulta que nuestra almohadilla es totalmente desmontable, y que su uso pueda ser prolongado. Aumentando la durabilidad de este al poder reemplazar únicamente la pieza dañada y no tener que desechar toda la almohadilla. Por otro lado, se logró realizar la almohadilla muy similar a la original, utilizando diferentes materiales como resina, silicón y caucho de silicona. Lo que convierte a la almohadilla en el entrenador dirigido a la cateterización, y lo más importante que la región simulada logre ser exactamente como la original y esto permite palpar y sentir el área para cateterización venosa central.

Los objetivos planteados fueron alcanzados por medio de la investigación, obteniendo como resultados diferentes elementos replicables como son la piel, músculo, clavícula, base y venas.

El modelo de la almohadilla para la simulación clínica logró demostrar ser una alternativa simple, reproducible y viable para el entrenamiento de habilidades clínicas y quirúrgicas.

Se logró reducir significativamente los costos, permitiendo la producción del modelo sin necesidad de laboratorios o productos de difícil acceso. Gracias a todo lo anterior, proyectamos futuras aplicaciones del proyecto, permitiendo la comercialización del producto y la venta de moldes, para que cada Centro de Simulación pueda obtener sus almohadillas de manera más económica.

Se sugiere mejorar la calidad de la piel para asemejarla lo más posible a la sensación real y evaluarla en diferentes tipos de ambientes, no solo en entornos controlados. Con estas mejoras, el modelo podría establecerse como un estándar en la educación médica, contribuyendo significativamente a la formación de profesionales de la salud.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. 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>
- [2]. Buggedo, G., & Castillo, L. (2005). Cateterización venosa central y accesos vasculares. *MEDICINA INTENSIVA*. Pag 135-142.
- [3]. 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)
- [4]. 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>
- [5]. Juárez, S. A. Á. Barrón, A. M. G., & López, S. M. (2020b). 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>
- [6]. 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>
- [7]. 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>

- [8]. 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>
- [9]. Throne, J. L. (2008). Understanding thermoforming. En *Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG eBooks*. <https://doi.org/10.3139/9783446418554>
- [10]. 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>
- [11]. 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>
- [12]. Baillie, S., Christopher, R. C., Catterall, A., Kruydenberg, 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>
- [13]. 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>
- [14]. 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.

[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]. Castaño Vanegas, L. (2022). *Simulador para entrenamiento en punción lumbar*. Antioquia Colombia. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/5799>

[17]. Vanyolos, E., Furka, I., Miko, I., Viszlai, A., Nemeth, N., & Peto, K. (2017). *How does practice improve the skills of medical students during consecutive training courses?* Acta Cirúrgica Brasileira, 32(6), 491-502. <https://doi.org/10.1590/s0102-865020170060000010>