

## Diseño, elaboración y validación de piel artificial como herramienta de aprendizaje de bajo costo

Design, Development, and Validation of Artificial Skin as a Low-Cost Learning Tool

Aziel A. Peralta-Ramírez<sup>1\*</sup>, Sergio Trujillo-López<sup>1</sup>, Sayil A. de la Torre-Othon<sup>1</sup>, Gonzalo A. Navarro-Armendariz<sup>1</sup>, Juan A. Medina-Aguirre<sup>1</sup>, Marcial R. Sierra-Cervantes<sup>1</sup>, Gabriel H. Coronado-Hernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Académico de la Licenciatura en Medicina. Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud de la Universidad de Sonora, Unidad Regional Centro, Campus Hermosillo. Blvd. Luis Donald Colosio esq. con Reforma, C. P. 83000.

<sup>2</sup> Médico pasante del servicio social de la Licenciatura en Medicina. Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud de la Universidad de Sonora, Unidad Regional Centro, Campus Hermosillo. Blvd. Luis Donald Colosio esq. con Reforma, C. P. 83000.

Identificador ORCID: AAPR 0000-0001-6091-6078; STL 0000-0002-6183-117X; JAMA 0000-0002-2254-8128; MRSC 0000-0001-7170-8071; GHCH 0000-0002-3766-4375.

\*Correo electrónico de autor de correspondencia: [aziel.peralta@unison.mx](mailto:aziel.peralta@unison.mx)

### RESUMEN

**Introducción:** La simulación ofrece la práctica de escenarios clínicos complejos en un entorno seguro, permitiendo cometer errores sin riesgos. Los modelos físicos de piel, hechos de materiales no vivos, imitan propiedades y funciones de la piel real, siendo útiles en simulación clínica por su estabilidad, bajo costo y fácil almacenamiento.

**Objetivo:** Diseñar, desarrollar y validar un modelo de piel artificial efectivo y de bajo costo para la simulación clínica.

**Método:** Se creó una piel artificial con glicerina y grenetina, de aspecto realista, textura lisa, semiflexible y 8 mm de grosor. La validación se realizó mediante encuestas tipo Likert a 11 médicos y 52 alumnos, evaluando aprendizaje, morfología y funcionalidad para técnicas quirúrgicas y prácticas de acceso venoso periférico.

**Resultados:** El 90 % del grupo evaluador mostró una actitud favorable hacia el modelo como herramienta de aprendizaje, 90.5 % en morfología-funcionalidad para técnicas quirúrgicas y 85 % para acceso venoso periférico.

**Conclusiones:** Se desarrolló un simulador de piel de bajo costo, reutilizable al calentar y remodelar, adecuado para diversos escenarios clínicos. La actitud de especialistas y alumnos fue mayoritariamente favorable, con un costo casi 90 % menor comparado con modelos existentes. Los modelos de piel sintética son herramientas de simulación viables y bien valoradas por los expertos.

*Palabras clave:* piel artificial, simulación clínica, diseño, bajo costo

## ABSTRACT

**Introduction:** Simulation offers the practice of complex clinical scenarios in a safe environment, allowing for errors without risks. Physical skin models, made from non-living materials, mimic the properties and functions of real skin, making them useful in clinical simulation due to their stability, low cost, and easy storage.

**Objective:** To design, develop, and validate an economical artificial skin model for suture and venipuncture simulation.

**Method:** An artificial skin was created using glycerin and gelatin, with a realistic appearance, smooth texture, semi-flexibility, and a thickness of 8 mm. Validation was conducted through Likert scale surveys with 11 experts and 52 students, evaluating learning, morphology, and functionality for surgical techniques and peripheral venous access.

**Results:** 90 % of the evaluators showed a favorable attitude towards the model as a learning tool, 90.5 % in morphology-functionality for surgical techniques, and 85 % for peripheral venous access.

**Conclusions:** A low-cost skin simulator was developed, which can be reused by heating and remodeling and is suitable for various clinical scenarios. The attitude of specialists and students was mostly favorable, with a cost almost 90 % lower compared to existing models. Synthetic skin models are viable simulation tools and are highly valued by experts.

*Keywords:* artificial skin, clinical simulation, design, low cost

## Introducción

La simulación clínica ha transformado el paradigma de la enseñanza durante las últimas décadas, ya que propone la práctica de un escenario clínico complejo, semejante a la realidad, con la garantía de un ambiente seguro y con la posibilidad de cometer errores sin correr riesgo alguno.<sup>1</sup> Esto último es de gran relevancia, ya que el error médico representa una importante causa de mortalidad en la población, con consecuencias tanto sociales como económicas.<sup>2</sup> La simulación busca el razonamiento clínico y la realización de habilidades específicas con su posterior repetición, para que así, una vez llevado el error a sus últimas consecuencias durante la práctica, se acorte la curva de aprendizaje y las habilidades sean desarrolladas de manera óptima en una situación real.<sup>2,3</sup>

Los modelos físicos de piel comprenden todos los materiales "no vivientes" o sistemas físicos que poseen una o más propiedades, funciones o com-

portamientos de la piel. Estos pueden ser indistintamente denominados como modelos de piel, piel fantasma, piel sintética o piel artificial, este último siendo el término que se adoptará para referirnos a dichos modelos a lo largo del presente trabajo. El beneficio del uso de piel artificial en la simulación clínica radica en su buena estabilidad a largo plazo, bajo costo y fácil almacenamiento. Según los requerimientos de la funcionalidad de la piel, existen diferentes materiales con los cuales se pueden realizar modelos de este tejido, los cuales pueden ser soluciones lipídicas (poliestireno monodisperso), sustancias gelatinosas (gelatina, colágenos), elastómeros (poliuretanos), resinas epóxicas, textil (algodón, poliéster), entre muchos más. Debido a las propiedades principalmente mecánicas y estéticas que se requieren en la simulación clínica, los materiales más utilizados son las sustancias gelatinosas, los elastómeros y sus derivados.<sup>4</sup> Además de las preparaciones con los componentes mencionados anteriormente,

está documentado el uso de modelos cadavéricos humanos y de tejido ex vivo de animales (principalmente cerdo) para las prácticas de simulación que involucren piel. El fácil acceso, bajo costo y similitud en ciertas regiones anatómicas hacen al tejido animal ex vivo una opción viable para su incorporación en simuladores de distintas fidelidades.<sup>5,6,7</sup>

El desarrollo de simuladores de bajo costo, enfocados en la incorporación de piel artificial, está poco documentado en la literatura. Si bien los prototipos de modelos de piel tienen distintos propósitos dependiendo de cada investigador, la mayoría utiliza derivados de silicón como materia prima, ya sea de manera única, en combinación con otros componentes o superpuesto con otros materiales para estructurar las capas anatómicas de la piel. Los costos reportados o calculados por estimación varían desde aproximadamente \$10 dólares estadounidenses (USD), hasta cantidades que sobrepasan los \$150 USD.<sup>8,9,10</sup>

En este contexto, se plantea la posibilidad del diseño y desarrollo de un modelo de piel artificial que sea comparable en funcionalidad con modelos comercializados, y así, proponer una alternativa más económica para simuladores de baja fidelidad.

## Objetivo

Diseñar, desarrollar y validar un modelo de piel artificial efectivo y de bajo costo para la simulación clínica.

## Materiales y métodos

### *Elaboración de la piel artificial*

Los materiales utilizados y sus proporciones son enlistados en la **Tabla 1**. Para la elaboración de la piel artificial, primero se coloca la grenetina en un recipiente de vidrio para baño maría a 85 °C. Una vez alcanzada la temperatura, se añaden 5

gotas de colorante color carne y 15 de colorante color blanco. Lentamente, se vierte la grenetina y se mezcla por 15 minutos hasta alcanzar una mezcla homogénea; a su vez, se retira la espuma resultante. Finalmente, se vierte la mezcla en un recipiente de cristal plano para lograr un grosor de media pulgada y se deja reposar durante 2 horas a temperatura ambiente.

**Tabla 1.** *Materiales para la fabricación de piel artificial con base en grenetina-glicerina*

Material	Cantidad
Grenetina Knox ®	450 g
Glicerina pura	1800 g
Agua destilada	45 ml
Colorante de gel marca Ma Baker and Chef color carne # JC 19-010	5 gotas
Colorante de gel marca Ma Baker and Chef color blanco # JC 32-010	15 gotas

Por medio de esta técnica se fabricaron dos modelos de 8 mm de grosor. El primero se realizó utilizando un molde circular de 8 cm de diámetro, y para el segundo un recipiente rectangular de 18 cm de longitud y 13 cm de altura. El resultado final de la piel artificial se aprecia en la Figura 1.



**Figura 1.** *Piel artificial compuesta por grenetina y glicerina*  
 Nota: en la parte superior se muestra el modelo circular para técnicas quirúrgicas; en la parte inferior, el modelo rectangular para acceso venoso periférico

### Validación

Para la validación del simulador se consideraron dos grupos: grupo A, compuesto por 11 médicos adscritos al Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud (DMCS) de la Universidad de Sonora, 6 especialistas quirúrgicos (54.5 %) y 5 médicos generales con orientación en educación médica (45.5 %); grupo B, compuesto por 52 alumnos de último año de la Licenciatura en Medicina del DMCS de la Universidad de Sonora.

Los evaluadores realizaron tres puntos simples en el modelo circular de la piel con cántut crómico

y nylon 3-0. Posteriormente, colocaron un acceso venoso periférico en la presentación rectangular de la piel. Al término de ambas pruebas, los evaluadores respondieron una encuesta de apreciación tipo Likert constituida por 13 ítems, cada uno de los cuales se calificó con la siguiente escala: 1 = muy en desacuerdo, 2 = algo en desacuerdo, 3 = ni de acuerdo ni en desacuerdo, 4 = algo de acuerdo, 5 = muy de acuerdo. Los ítems fueron agrupados en las siguientes categorías: “aprendizaje” (ítem 1 al 7), “morfología-funcionalidad para técnicas quirúrgicas” (ítem 8-10) y “morfología-funcionalidad para acceso venoso periférico” (ítem 11-13) como se muestra en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Encuesta de apreciación para la validación de la piel artificial con base en grenetina-glicerina

Ítems
<b>Aprendizaje.</b>
1.- Es útil para la adquisición de destrezas clínicas.
2.- Su uso es comparable con la piel de pacientes reales.
3.- Incrementa el acceso a la educación.
4.- Permite desarrollar criterio propio para la toma de decisiones durante la realización del procedimiento.
5.- Permite desarrollar aptitudes frente al trato de pacientes.
6.- Estoy a favor del uso de pieles de bajo costo como enlace de los conocimientos básicos y clínicos.
7.- El uso de piel de bajo costo cumplió con mis expectativas antes de utilizarla.
<b>Morfología - funcionalidad para técnicas quirúrgicas</b>
8.- La tensión de punción es comparable con la del paciente real.
9.- La consistencia es comparable con la del paciente real.
10.- La resistencia es comparable con la del paciente real.
<b>Morfología - funcionalidad para acceso venoso periférico.</b>
11.- La tensión de punción es comparable con la del paciente real.
12.- La consistencia es comparable con la del paciente real.
13.- La resistencia es comparable con la del paciente real.

Para validar la encuesta de apreciación, se consideró el constructo a través de expertos, incluyendo 6 especialistas quirúrgicos y 5 médicos generales (técnica Delphi). Además, se realizó una prueba piloto en 10 estudiantes de medicina con consistencia de 0.82 (alfa de Cronbach).

Los datos fueron almacenados, organizados y procesados en el programa estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences; IBM SPSS Statistics Base 22). Utilizando un análisis descriptivo, se evaluaron variables numéricas usando desviaciones promedio y estándar,

así como frecuencia y porcentaje. Se utilizó la prueba exacta de Fisher para evaluar la relación entre actitud no favorable y los grupos de estudio. Todas las estimaciones se realizaron con una significancia del 95 %.

### Resultados

Para la interpretación de los resultados, la escala fue agrupada en actitud “favorable” (muy de acuerdo y algo de acuerdo) y actitud “no favorable” (ni de acuerdo ni en desacuerdo, algo en desacuerdo y muy en desacuerdo) como se muestra en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.** Resultados de la encuesta de apreciación para la validación de la piel artificial con base en grenetina-glicerina. Grupo A = Expertos, Grupo B = Alumnos. \*Neutro = ni en acuerdo ni en desacuerdo

Validación		Categoría					
		Aprendizaje (%)		Técnicas quirúrgicas (%)		Acceso venoso periférico (%)	
		Grupo A	Grupo B	Grupo A	Grupo B	Grupo A	Grupo B
Favorable	Muy de acuerdo	54.5	64	63.5	54	18.5	56
	De acuerdo	36.5	25	27.5	36	63.5	32
No favorable	Neutro*	9	8	9	6	18	12
	Poco de acuerdo	0	3	0	4	0	0
	Nada de acuerdo	0	0	0	0	0	0
Total		100	100	100	100	100	100

En la categoría de “Utilidad como herramienta de aprendizaje”, donde se evaluó su eficacia para la adquisición de destrezas, aptitudes, criterio propio para decisiones, utilidad como enlace de conocimientos teórico-prácticos, acceso a la educación, cumplimiento de expectativas y similitud con pacientes reales, el 90 % del grupo evaluador presentó actitud favorable y el 10 % actitud no favorable, dentro de este último grupo, el 8.5 % refirió no estar ni de acuerdo ni en desacuer-

do y el 2.5 % poco de acuerdo; no existió relación estadísticamente significativa en la actitud no favorable entre expertos y alumnos frente a la validación como herramienta de aprendizaje (Grupo A = 1, Grupo B = 6, p = 0.6466).

Por otra parte, el grupo evaluador presentó actitud favorable en un 90.5 % y 9.5 % de actitud no favorable frente a la validación de “Morfología-funcionalidad para técnicas quirúrgicas”, en donde se

evaluó la tensión de punción, consistencia y resistencia. Del 9.5 % de actitud no favorable, el 7.5 % refirió estar ni de acuerdo ni en desacuerdo y el 2 % poco de acuerdo; no existió relación estadísticamente significativa en la actitud no favorable frente a la validación de “Morfología-funcionalidad para técnicas quirúrgicas” entre los expertos y los alumnos (Grupo A = 1, Grupo B = 5,  $p = 0.7204$ ).

Finalmente, el 85 % refirió actitud favorable en la “Morfología-funcionalidad para acceso venoso periférico”, y el 15 % refirió estar ni de acuerdo y ni en desacuerdo en donde se evaluó la tensión de punción, consistencia y resistencia; no existió relación estadísticamente significativa en la actitud no favorable frente a la validación de morfología-funcionalidad para acceso venoso periférico entre los expertos y los alumnos (Grupo A = 2, Grupo B = 6,  $p = 0.4257$ ).

Ningún evaluador refirió estar nada de acuerdo en los 13 ítems de la encuesta de validación de la piel artificial con base en glicerina-grenetina. No existió relación entre la actitud no favorable y el grado del evaluador (Grupo A = 4, Grupo B = 17,  $p = 0.5359$ ).

## Discusión

Nuestro estudio propuso la elaboración de un simulador de piel de bajo costo, el cual puede ser utilizado para diversos escenarios clínicos. Dicho simulador es de fácil manejo y puede reutilizarse al calentar y moldear nuevamente el modelo utilizado. La actitud de los especialistas y de los alumnos hacia el simulador fue en su gran mayoría favorable, con una media de 88.5 %. El costo neto total de la elaboración del modelo circular y el modelo rectangular fue de \$85 y \$150 pesos mexicanos (MXN) respectivamente. Las fortalezas del presente trabajo radican en la sencilla replicación de los modelos, su efectividad como simulador, su reutilización y su bajo costo para su incorporación en prácticas de simulación clínica.

En cuanto a limitaciones, se encontró la falta de recursos para la medición de características de la piel, tales como su resistencia mecánica, cambios morfológicos con la temperatura, elasticidad, entre otros indicadores que pudieran resultar útiles para medir objetivamente la similitud de nuestro modelo en comparación con la piel real. Estas limitaciones pueden resultar en una sobreestimación de la similitud y efectividad del modelo de piel artificial en comparación con la piel real y otros modelos, haciendo que las conclusiones sean preliminares y requieran validación adicional en estudios más amplios y exhaustivos.

Existen trabajos reportados de simuladores de piel similares al nuestro; Daniel Guerrero *et al.* (2017) elaboraron un simulador de paracentesis, en donde utilizaron silicón como base del material para elaborar el segmento de piel del sitio de punción de la técnica, resultando un modelo de 10 cm de diámetro por 4 cm de altura y con un costo total de \$3500 MXN. Además, reportaron una actitud favorable respecto al aprendizaje y a la apariencia del simulador en un 87.5 %.<sup>7</sup> Nuestro modelo de piel con base en grenetina tuvo un costo casi 90 % menor que el modelo de piel basada en silicón; los resultados de validación entre ambos trabajos no son significativos.

Jiménez *et al.* (2020) desarrollaron un simulador de auscultación cardiopulmonar, donde el componente anatómico de la piel fue realizado con base en silicón y con apoyo de plastilina epóxica.<sup>8</sup> Valderrama Treviño *et al.* (2016) desarrollaron también un modelo de piel basado en silicón para el entrenamiento en el cierre de una herida superficial. Los autores compararon la práctica del cierre de heridas utilizando su piel sintética, un conejo vivo y una pata de conejo. Los resultados evidenciaron una diferencia significativa entre el uso de piel sintética y los otros dos modelos, teniendo los sujetos de prueba un mayor desempeño con la piel sintética.<sup>9</sup>

Finalmente, Williams *et al.* (2020) propusieron un modelo de piel sintética de bajo costo para realizar suturas, donde utilizaron materiales basados en silicón y colorantes para conseguir una estructura de piel basada en capas (epidermis, dermis, tejido subcutáneo y músculo). El costo de producción de 100 cm cuadrados de piel sintética fue de \$8.80 USD, aproximadamente \$180 MXN. Su validación fue mediante la evaluación de expertos, siendo estos especialistas en cirugía, residentes y médicos de posgrado; ellos compararon el modelo de piel sintética con 3 modelos comerciales, resultando, en general, con una apreciación de mayor apego a la realidad que el resto de los modelos. El costo de producción de nuestro trabajo fue menor por casi el 33.33 %.

### Conclusión

Los modelos de piel sintética, sin importar el material de elaboración, han demostrado ser herramientas de simulación viables, las cuales tienen una satisfacción alta entre los expertos. En el presente trabajo, se logró desarrollar un modelo de piel basado en glicerina y grenetina de bajo costo, el cual resultó ser entre 30 y 90 % más costeable en comparación con lo reportado en la literatura. Además, en su validación, alcanza una actitud favorable respecto a su morfología, funcionalidad y como estrategia de aprendizaje en casi un 90 %.

Para futuras investigaciones, sería valioso implementar mediciones objetivas de las propiedades mecánicas y estéticas de la piel artificial, evaluar su durabilidad con el uso repetido y validar su aplicabilidad en una gama más amplia de procedimientos clínicos. Además, ampliar el tamaño de la muestra y comparar el modelo con otros materiales y simuladores comerciales podría proporcionar una comprensión más completa de su efectividad y versatilidad en la educación médica.

### Conflictos de interés

Negaron cualquier conflicto o inclinación.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Rodríguez A, Martínez E, Garza G, Rivera A. Satisfacción en simulación clínica en estudiantes de medicina. *eciMed*. 2021; 35(3):1-15. <http://scielo.sld.cu/pdf/ems/v35n3/1561-2902-ems-35-03-e2331.pdf>
- Hernández L, Barona V, Durán C, Olvera H, Ortiz G, Ávila S et al. La seguridad del paciente y la simulación clínica. Primer Encuentro Internacional de Simulación | Simex 2017. 2017; 1(1):9-18. <https://www.medigraphic.com/pdfs/facmed/un-2017/uns171b.pdf>
- Spoerer S, Vela J, Contreras C, Ortiz C, Caro I, Riquelme C et al. Elaboración de un simulador de trauma torácico a partir de un torso cadavérico utilizando tecnología de imágenes digitales e impresión 3D. *Rev Cir*. 2021; 73(3). <https://doi.org/10.35687/s2452-45492021003906>
- Dąbrowska A, Rotaru G, Derler S, Spano F, Camenzind M, Annaheim S et al. Materials used to simulate physical properties of human skin. *Skin Res Technol*. 2015; 22(1):3-14. <https://doi.org/10.1111/srt.12235>
- Searle S, Guerra C, Varas J, Achurra P, Jarry C, Navia A et al. Entrenamiento de colgajos locales en un modelo simulado de alta fidelidad y bajo costo. *Rev Latinoam Simul Clin*. 2020; 2(3):92-97. <https://doi.org/10.35366/97899>
- Kei J, Mebust D, Duggan L. The REAL CRIC Trainer: Instructions for Building an Inexpensive, Realistic Cricothyrotomy Simulator With Skin and Tissue, Bleeding, and Flash of Air. *J Emerg Med*. 2019; 56(4):426-430. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2018.12.023>
- Daniel Guerrero A, Mendoza Méndez A, González Sánchez J, Mancera Rangel M, Torres Lugo M, Valdéz Ávila S et al. Diseño y vali-

- dación de un simulador híbrido de paracentesis. *Educ Med.* 2019; 20(1):37-41. <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2017.10.033>
8. Viaña-Fragoso S, Rosario-Rojas A, Jiménez-Ángeles L. Diseño de un simulador de paciente para auscultación cardiaca. *Rev Latinoam Simul Clin.* 2020; 2(3):146-153. <https://doi.org/10.35366/97904>
  9. Valderrama-Treviño A, Granados Romero J, Méndez-Celis C, Chernitzky-Camaño J, Barrera Mera B, Montalvo-Javé E et al. Comparación entre 3 modelos para el entrenamiento en el cierre de una herida superficial. *Inv Ed Med.* 2017; 6(23): 147-152. <https://doi.org/10.1016/j.riem.2016.09.006>
  10. Williams T, Snyder C, Hancock K, Iglesias N, Sommerhalder C, DeLao S et al. Development of a Low-cost, High-fidelity Skin Model for Suturing. *J Surg Res.* 2020; 256:618-622. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.07.051>