



Diseño, elaboración y evaluación de un simulador de auscultación cardiopulmonar de bajo costo

Design, development and evaluation of a low-cost cardiopulmonary auscultation simulator

Gilberto Gastélum-Hernández,* Juan Antonio Medina-Aguirre,* Sergio Trujillo-López,* Aziel Alejandro Peralta-Ramírez*

Palabras clave:
Simulador clínico,
auscultación
cardiopulmonar,
diseño, bajo costo.

Keywords:
*Clinical simulator,
cardiopulmonary
auscultation, design,
low cost.*

RESUMEN

Introducción: Las enfermedades cardiopulmonares son de las principales causas de mortalidad en todo el mundo. El diagnóstico adecuado de estos padecimientos requiere de un nivel óptimo de competencias en la exploración física torácica, particularmente en la auscultación cardiopulmonar, en donde el aprendizaje mediante simuladores clínicos de bajo costo ha mostrado resultados favorables. **Objetivo:** Presentar un simulador de bajo costo de auscultación torácica para su replicación por cualquier usuario. **Material y métodos:** Se diseñó y elaboró un simulador de auscultación de ruidos cardiacos y pulmonares funcional compuesto por una piel artificial hecho a base de gretina y glicerina, un circuito electrónico capaz de reproducir 18 ruidos cardiopulmonares independientes y sincrónicos, y un *software* configurable. Después, el simulador fue evaluado por un grupo de expertos mediante una encuesta tipo Likert compuesta por 12 ítems. **Resultados:** El grupo evaluador presentó actitud favorable en 91% en morfología-funcionalidad, 84% en calidad sonora y 100% en relación con el aprendizaje. **Conclusión:** Los simuladores clínicos contribuyen al desarrollo de competencias clínicas en los estudiantes del área de la salud. El diseño y elaboración de simuladores de uso no comercial y bajo costo benefician el aprendizaje de habilidades clínicas sin representar grandes costos.

ABSTRACT

Introduction: *Cardiopulmonary diseases are among the main causes of mortality in the world. Adequate diagnosis of these conditions requires an optimal level of competence in thoracic physical examination, particularly in cardiopulmonary auscultation, where learning by means of low-cost clinical simulators has shown favorable results.* **Objective:** *To present a low-cost chest auscultation simulator for replication by any user.* **Material and methods:** *A functional heart and lung sound auscultation simulator was completed and developed, consisting of an artificial skin based on gelatin and glycerin, an electronic circuit capable of reproducing 18 independent and synchronous cardiopulmonary sounds, and a configurable software. Subsequently, the simulator was evaluated by a group of experts through a Likert-type survey made up of 12 items.* **Results:** *The evaluation group presented a favorable attitude in 91% in morphology-functionality, 84% in sound quality and 100% in relation to learning.* **Conclusion:** *Learning based on clinical simulators is an effective tool for the development of clinical competencies in health professionals. The design and elaboration of non-commercial and low-cost simulators benefit the learning of clinical skills without representing great costs.*

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cardiopulmonares representan una de las principales causas de mortalidad en el mundo.¹ En México tan sólo las enfermedades cardiovasculares representan la primera causa de muerte, con cerca de una cuarta parte del total de fallecimientos al año. Por otro lado,

las enfermedades pulmonares han incrementado de manera abrupta su morbimortalidad asociada principalmente a la emergencia de la pandemia de COVID-19.² En este contexto es preocupante cómo uno de los pilares para el diagnóstico de estos padecimientos, la auscultación torácica, sea una de las prácticas con menor competencia en los estudiantes del área de la salud.^{2,3}

* Universidad de Sonora, Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud, Centro de Simulación y Destrezas Clínicas, Hermosillo, Sonora, México.

Recibido: 24/02/2022
Aceptado: 06/03/2022

doi: 10.35366/104954

Citar como: Gastélum-Hernández G, Medina-Aguirre JA, Trujillo-López S, Peralta-Ramírez AA. Diseño, elaboración y evaluación de un simulador de auscultación cardiopulmonar de bajo costo. *Rev Latinoam Simul Clin.* 2022; 4 (1): 35-40. <https://dx.doi.org/10.35366/104954>



La auscultación torácica es una de las habilidades clínicas fundamentales en la evaluación del paciente con enfermedad cardiovascular y pulmonar.⁴ Si bien, la emergencia de estudios imagenológicos, como la ecocardiografía y la radiografía de tórax, han contribuido a mejorar los procesos diagnósticos, también han reducido la competencia de esta habilidad clínica, particularmente en los médicos en formación.^{2,3}

La capacidad de reconocer e interpretar los ruidos cardiacos anormales está disminuyendo en varias especialidades médicas, tanto así que se ha reportado que menos de 20% de las anomalías auscultatorias cardiacas son detectadas correctamente.^{5,6} A la par, la capacidad de identificar los ruidos pulmonares en médicos generales ha mostrado una pobre concordancia interexaminador frente a un mismo hallazgo auscultatorio.⁶

Ante este panorama la simulación clínica se ha desarrollado como un modelo de entrenamiento alternativo para mejorar las habilidades de auscultación cardiopulmonar en los profesionales de la salud.^{3,7} Las metodologías del aprendizaje en simulación clínica involucran físicamente al alumno en ambientes controlados, reproducibles y cuantificados que favorecen una enseñanza libre de riesgos.^{8,9}

El incremento en el uso y la demanda de simuladores clínicos para la enseñanza médica ha generado la necesidad de promover la generación de nuevos proyectos tecnológicos para el diseño



Figura 1: Modelo anatómico. Piel artificial compuesta por grenetina y glicerina.

de simuladores funcionales con costos accesibles para los usuarios.^{10,11}

MATERIAL Y MÉTODOS

El simulador de auscultación cardiopulmonar se planificó en tres componentes: el modelo anatómico, el modelo electrónico y el *software*.

Modelo anatómico: el modelo anatómico consta de un torso de un varón adulto manipulable para la exploración física torácica, los materiales para su fabricación se encuentran en la *Tabla 1*. La fabricación del molde positivo se realizó usando un torso de plástico varonil de uso comercial; primero se añadió una capa delgada de aceite no comestible; después, se vertieron en agua tibia tres vendas de yeso de 15 cm × 2.7 m y se recubrió toda la superficie del molde en sentido longitudinal hasta completar tres capas. Por último, se mantuvo en reposo por 24 horas antes de su remoción. Para la piel artificial, primero se preparó la mezcla a base de glicerina y grenetina; después, se fabricó la piel artificial utilizando el molde negativo y positivo.

Elaboración de la mezcla: colocar la glicerina en un recipiente de vidrio a baño María bajo una temperatura de 85 °C. Después, añadir cinco gotas de colorante color carne y 15 gotas de colorante color blanco. Luego, verter lentamente la grenetina y mezclar por 15 minutos hasta tener una mezcla homogénea, simultáneamente retirar la espuma resultante. Enseguida, verter la mezcla

Tabla 1: Materiales para la fabricación del modelo anatómico.

Materiales para la fabricación del molde		
Producto	Cantidad	Medidas
Vendas de yeso	3	15 cm × 2.7 m
Molde maniquí exhibidor playera torso hombre plástico	1	Altura: 60 cm Hombros: 40 cm Base: 30 cm
Materiales para la fabricación de la piel artificial en base a grenetina-glicerina		
Material	Cantidad	Contenido
Grenetina Knox®	1	450 g
Glicerina pura	1	1,800 g
Agua destilada	1	45 mL
Colorante de gel marca Ma Baker and Chef color carne # JC 19-010	1	10 mL
Colorante de gel marca Ma Baker and Chef color blanco # JC 32-010	1	10 mL

en un recipiente plano para lograr un grosor de media pulgada. Finalmente, dejar reposar durante dos horas a temperatura ambiente.

Fabricación de la piel artificial: retirar la mezcla del recipiente y aplicar una capa fina de talco en ambas caras de la mezcla y dejar reposar por 72 horas a temperatura ambiente. Después, limpiar la mezcla con agua y jabón para retirar el talco residual. Luego, cortar la mezcla en cubos de una pulgada cúbica y verter en un recipiente de vidrio. Enseguida, calentar por sesiones de 30 segundos en un microondas estándar y mezclar después de cada sesión hasta formar una mezcla líquida homogénea. Posteriormente, verter la mezcla en la superficie interna del molde negativo de forma uniforme y utilizar el molde positivo para generar un llenado de cavidades. Después, dejar reposar a temperatura ambiente por al menos dos horas y retirar los moldes. A la piel resultante aplicar talco en la cara externa y retirar el exceso. Por último, dejar reposar la piel por al menos 72 horas. La piel artificial elaborada se aprecia en la *Figura 1*.

Modelo electrónico: el modelo electrónico está formado por un *protoboard* integrado a un microcontrolador Arduino Uno®, conectado a tres reproductores DFPlayer MiniMp3 con sus memorias MicroSD de 32 Gb, respectivamente. Los reproductores están conectados a tres bocinas de 1.5 W. El cable USB 2.0 A-macho a B-macho une al modelo electrónico al ordenador portátil. Los materiales utilizados para la fabricación del modelo se muestran en la *Tabla 2* y el circuito integrado se muestra en la *Figura 2*.

Software: fue diseñado en Python, el cual actúa de interfaz para la configuración de los ruidos cardiacos y ruidos pulmonares. Las funciones del *software* son las siguientes:

1. Reproducción. Inicia el ruido cardiopulmonar seleccionado previamente.
2. Configuración. Permite seleccionar el tipo de ruido cardiaco o de ruido pulmonar izquierdo o derecho deseado.
3. Detener. Detiene el ruido cardiopulmonar seleccionado previamente.
4. Ajuste de volumen. Permite seleccionar un volumen dentro del rango de 10 a 30 Hz.
5. Prueba. Inicia una prueba de identificación de ruidos cardiopulmonares que consiste en la reproducción sucesiva de los 18 ruidos

Tabla 2: Materiales para la fabricación del modelo electrónico.	
Material	Cantidad
Arduino 1®	1
Protoboard®	2
DFPlayer MiniMp3®	3
Resistencias 1 KΩ	3
Bocinas 5 Volts 1.5 Watts	3
Cables USB 2.0 tipo A a tipo B	1
Cable puente (Jumpers)	8
MicroSD 32Gb	3
Cable 22 G (1 m)	6

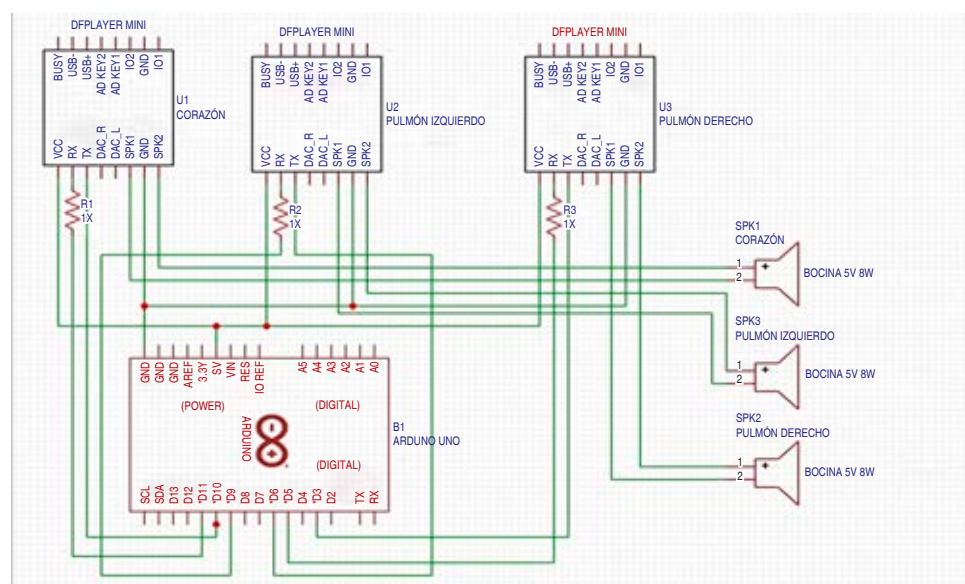


Figura 2:

Modelo electrónico. Esquema de conexiones del microcontrolador a reproductores y bocinas.

Tabla 3: Encuesta de evaluación del simulador ToraxSim.

Ítems
Categoría: calidad sonora
1. ¿Cómo consideras la intensidad de los ruidos cardiacos del simulador?
2. ¿Cómo consideras la intensidad de los ruidos pulmonares del simulador?
3. ¿Cómo consideras la calidad de los ruidos cardiacos para su diferenciación?
4. ¿Cómo consideras la calidad de los ruidos pulmonares para su diferenciación?
5. ¿Cómo consideras la duración de la prueba para la identificación de ruidos cardiacos ?
6. ¿Cómo consideras la duración de la prueba para la identificación de ruidos pulmonares ?
Categoría: morfología-funcionalidad
7. ¿Cómo consideras la similitud de auscultar al simulador con respecto a un paciente real?
8. ¿Cómo consideras las características de la piel sintética respecto a un paciente real?
Categoría: aprendizaje
9. ¿Cómo me siento respecto a mis habilidades de exploración física torácica tras utilizar el simulador?
10. ¿Cómo calificarías al aprendizaje mediante el simulador como herramienta de enseñanza?
11. ¿Cómo consideras tu motivación para el aprendizaje después de utilizar el simulador?
12. ¿Cómo consideras la funcionalidad del simulador como una herramienta de enseñanza?

cardiopulmonares con una duración de 15 segundos por cada ruido.

Evaluación del simulador: para la evaluación del simulador se seleccionó una muestra de 16 médicos pertenecientes al Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud, de los cuales seis fueron especialistas clínicos (31.25%), cinco fueron médicos generales con postgrado (37.5%) y cinco fueron médicos pasantes del servicio social con experiencia en simulación (31.25%). Los evaluadores realizaron la auscultación de campos pulmonares y focos aórticos en el simulador, después respondieron una encuesta tipo Likert constituida por 12 ítems, cada uno se calificó con la siguiente escala: 1 = nada satisfecho, 2 = poco satisfecho, 3 = regular, 4 = satisfecho, 5 = muy satisfecho. Los ítems fueron agrupados en las siguientes categorías: calidad sonora (ítem 1-6), morfología-funcionalidad (ítem 7-8) y aprendizaje (ítem 9-12), como se muestra en la *Tabla 3*. Los datos obtenidos fueron almacenados en una base de datos en Microsoft Excel para su posterior análisis e interpretación.

RESULTADOS

Para la interpretación de los resultados de la encuesta de evaluación, la escala fue agrupada en actitud favorable (muy satisfecho y satisfecho) y actitud no favorable (regular, poco satisfecho y nada satisfecho) (*Tabla 4*). En la categoría de morfología-funcionalidad, en la cual se evalúa la similitud en la auscultación y las características de la piel artificial, 91% del grupo evaluador presentó actitud favorable, en donde 46% de los expertos y 80% de los estudiantes refirió nivel muy satisfactorio, y 36% de los expertos y 20% de los alumnos nivel satisfactorio.

Por otra parte, en la categoría de calidad sonora, en la cual se evalúa la intensidad del audio, la calidad y la duración, 84% del grupo evaluador presentó actitud favorable, en donde 54.5% de los expertos y 60% de los estudiantes refirió nivel muy satisfactorio, y 29.5% de los expertos y 20% de los alumnos refirió nivel satisfactorio.

Finalmente, en la categoría de aprendizaje, la funcionalidad como herramienta de enseñanza, la motivación para el aprendizaje posterior al uso del simulador y el nivel de satisfacción de habilidades posterior al uso, 73% de los expertos y 80% de los estudiantes refirió nivel muy satisfactorio, 27% de los expertos y 20% de los alumnos nivel satisfactorio, ningún sujeto presentó actitud no favorable en la morfología-funcionalidad.

En relación con los resultados del diseño y elaboración del simulador ToraxSim, se produjo una piel artificial de aspecto realista, basada en glicerina y grenetina, textura lisa, semiflexible, con coloración homogénea de un grosor de 7 mm. El costo final de la elaboración de la piel fue de 500 pesos mexicanos. El modelo electrónico resultó funcional para la reproducción de los 18 ruidos cardiopulmonares almacenados en las memorias microSD de los tres reproductores de audio (DFPlayer MiniMp3) en cada una de las tres bocinas de 1.5 W, localizados en el foco aórtico (bocina cardiaca) y en la intersección del quinto espacio intercostal línea medioclavicular derecha e izquierda (bocinas pulmonares). Se logró realizar una reproducción sincrónica de las tres bocinas con diferentes ruidos cardiopulmonares. El costo final de la elaboración del modelo electrónico fue de 1,262 pesos mexicanos. El *software* desarrollado resultó funcional para la configuración de los ruidos cardiopulmonares.

DISCUSIÓN

Comparamos nuestros diseños de piel artificial con el elaborado por Jiménez-Ángeles, quien elaboró un simulador de auscultación con una piel sintética a base de silicón de platino. Las principales similitudes en el procedimiento de elaboración es el uso de una técnica de vaciado por capas para la elaboración de la piel. Las diferencias varían en la técnica de fabricación del molde, en el cual utilizaron plastilina epóxica con vendas de yeso y el uso de una base de espuma flexible expansible en comparación con nuestra fabricación del molde con vendas de yeso únicamente. En el mismo estudio consideramos similares los componentes utilizados en el modelo electrónico con los mismos reproductores de audio (DFPlayer MiniMp3) y microcontrolador (Arduino Uno®), con la diferencia de la utilización de sensores táctiles por presión. Por último, el interfaz en el estudio anterior fue con un sistema operativo Android para teléfono móvil mientras que en nuestro caso fue un *software* programado para ordenador portátil.¹¹

En el estudio de Sánchez-Vásquez se diseñó y elaboró otro simulador de auscultación cardiaca nombrado Hearthur. El diseño de su modelo anatómico utilizó el torso de un maniquí con una caja torácica de hule espuma. El circuito electrónico utilizó cinco bocinas y focos con señal LED. La interfaz es a través de un teléfono móvil. El costo final del simulador fue de \$1,500 pesos mexicanos. En comparación a nuestro simulador, nuestro circuito electrónico no incluyó señalamientos de retroalimentación como son las señales LED. Por último, el costo final por la fabricación de nuestro

simulador con la técnica de grenetina-glicerina fue menor al de éste.¹²

Las ventajas competitivas de nuestros diseños de piel son su bajo costo, al fabricarse con materiales económicos y de fácil acceso, su reproducibilidad sencilla y principalmente la propiedad de reutilización, ya que la piel diseñada con glicerina y grenetina permite que pueda ser cortada y recalentada para volver a formar una nueva piel artificial. En comparativa con los demás modelos de simuladores de auscultación de uso no comercial, la mayoría no cuentan con bocinas para la auscultación pulmonar, enfocándose principalmente en la auscultación cardiaca, a diferencia de nuestro simulador.^{11,12}

La enseñanza basada en simulación clínica representa una herramienta eficaz para la formación de competencias en los estudiantes del área de la salud, permitiendo desarrollar habilidades y destrezas clínicas. La principal limitante de la implementación de la simulación clínica son los altos costos de los simuladores comerciales. Por ello, el desarrollo de simuladores de bajo costo y de fácil reproducibilidad crea una opción para la fabricación sencilla de estos modelos sin representar un gasto económico elevado.

El objetivo de este trabajo es presentar un simulador de auscultación torácica elaborado con materiales de fácil acceso y bajo costo para que pueda ser replicado por cualquier usuario que desee fabricar un simulador clínico y al mismo tiempo fomentar la publicación de diseños de simuladores con fines educativos.

En cuanto a nuestro proyecto, se buscará implementar bocinas de menor tamaño y en mayor cantidad, así como se pretende mejorar la calidad y presentación para mejorar el realismo.

Tabla 4: Resultados de la encuesta de evaluación del simulador ToraxSim.

Evaluación		Categoría					
		Calidad sonora (%)		Morfología-funcionalidad (%)		Aprendizaje (%)	
		Experto	Estudiante	Experto	Estudiante	Experto	Estudiante
Favorable	<i>Muy satisfecho</i>	54.5	60	46	80	73	80
	<i>Satisfecho</i>	29.5	20	36	20	27	20
No favorable	<i>Regular</i>	16	20	18	0	0	0
	<i>Poco satisfecho</i>	0	0	0	0	0	0
	<i>Nada satisfecho</i>	0	0	0	0	0	0
Total		100	100	100	100	100	100

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la ingeniera Karla Nohemi Brown Ruiz por su participación con el diseño del circuito electrónico.

REFERENCIAS

1. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Características de las defunciones registradas en México durante 2020. México. 2021.
2. Tokuda Y, Matayoshi T, Nakama Y, Kurihara M, Suzuki T, Kitahara Y et al. Cardiac auscultation skills among junior doctors: effects of sound simulation lesson. *Int J Med Educ.* 2020; 11: 107-110. doi: 10.5116/ijme.5eb6.70c6.
3. McKinney J, Cook DA, Wood D, Hatala R. Simulation-based training for cardiac auscultation skills: systematic review and meta-analysis. *J Gen Intern Med.* 2013; 28 (2): 283-291.
4. Quinn A, Kaminsky J, Adler A, Eisner S, Ovitsh R. Cardiac Auscultation Lab Using a Heart Sounds Auscultation Simulation Manikin. *MedEdPORTAL.* 2019; 15: 10839. doi: 10.15766/mep_2374-8265.10839.
5. Mangione S, Nieman LZ, Gracely E, Kaye D. The teaching and practice of cardiac auscultation during internal medicine and cardiology training. *Ann Intern Med.* 1993; 119 (1): 47-54.
6. Bertrand Z, Segall K, Sánchez D, Bertrand N. La auscultación pulmonar en el siglo 21. *Rev Chil Pediatr.* 2020; 91 (4): 500-506.
7. Birdane A, Yazici HU, Aydar Y et al. Effectiveness of cardiac simulator on the acquirement of cardiac auscultatory skills of medical students. *Adv Clin Exp Med.* 2012; 21 (6): 791-798.
8. Palma-Guerra C, Cifuentes-Leal MJ, Espoz-Lara P et al. Relación entre formación docente en metodología de simulación clínica y satisfacción usuaria en estudiantes de pregrado de carreras de salud. *Simulación Clínica.* 2020; 2 (3): 133-139.
9. Garre-Baños N, Díaz-Agea JL. Aprendizaje bidireccional y perfil pedagógico del facilitador en metodología de autoaprendizaje en entornos simulados (MAES®). Un estudio cualitativo exploratorio. *Simulación Clínica.* 2020; 2 (3): 106-132.
10. Jarry C, Vidal C, Varas J et al. Evaluación de la retención del aprendizaje obtenido mediante simulación en competencias procedimentales transversales. *Simulación Clínica.* 2019; 1 (3): 123-128.
11. Jiménez-Ángeles L, Rosario-Rojas A, Víaña-Fragoso SA. Diseño de un simulador de paciente para auscultación cardiaca. *Simulación Clínica.* 2020; 2 (3): 147-154.
12. Sánchez-Vásquez U, Daniel-Guerrero AB, Méndez-Gutiérrez E et al. Diseño, elaboración y validación de un simulador realista y de bajo costo para exploración cardiaca. *Gaceta Médica de México.* 2021; 157 (1): 25-29.

Correspondencia:

Sergio Trujillo-López

Av. Colosio entre Reforma y Francisco Q. Salazar, s/n, Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, 83000.

E-mail: sergio.trujillo@unison.mx

www.medigraphic.org.mx