

Desarrollo de un prototipo a escala de un simulador de paciente de baja fidelidad para prácticas de apendicectomía laparoscópica

Huesca Arce, Alejandro

2025

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/6214>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

Desarrollo de un prototipo a escala de un simulador de paciente de baja fidelidad para prácticas de apendicectomía laparoscópica.

Huesca Arce Alejandro (octavo semestre en Ingeniería Biomédica)¹, Morales Saloma Oscar Alberto (sexto semestre en Ingeniería Biomédica)¹, Perea Morales Jesús Emilio (octavo semestre en Ingeniería Mecatrónica)^{1, *}, Merino Arroyo Carlos Miguel (profesor responsable)¹, López Cruz Lester Emmanuel (profesor asesor)¹ y Moreno Hernández Ana (profesor asesor)¹
¹Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México

Palabras clave: Simulador, laparoscopia, apendicectomía.

***Autor Corresponsal:** jesus.perea@iberopuebla.mx

Introducción

La laparoscopia es una técnica quirúrgica mínimamente invasiva que permite a los cirujanos diagnosticar y tratar enfermedades, principalmente en el abdomen y la pelvis, sin necesidad de grandes incisiones. El procedimiento consiste en realizar pequeñas incisiones (menos de 1.3 cm) para introducir un laparoscopio, que incluye una cámara y una fuente de luz, junto con trocares que sirven como acceso para instrumentos como pinzas o tijeras [1], [2].

En el caso de la apendicitis aguda, esta se define como la inflamación del apéndice, generalmente causada por una obstrucción en su luz debido a hiperplasia linfoide, fecalitos o infecciones [3], [4]. Los síntomas clásicos incluyen dolor alrededor del ombligo y en la parte superior del abdomen, náuseas, vómitos y fiebre leve (37.7–38.3°C). Sin embargo, en aproximadamente el 50% de los pacientes, los síntomas pueden variar, especialmente en adultos mayores. [5]

Para tratar la apendicitis, una de las técnicas quirúrgicas más comunes es la apendicectomía laparoscópica, que puede realizarse mediante dos métodos: intrabdominal o extrabdominal. El paciente se coloca en posición decúbito supino (boca arriba), y se utilizan tres trocares: uno de 10 mm en el ombligo para el laparoscopio, otro de 10 mm en el flanco izquierdo para los instrumentos y uno de 5 mm en el hipogastrio [6], [7]. Entre los materiales necesarios para este procedimiento se encuentran un sistema de video, óptica de visión, bisturí eléctrico, pinzas coagulantes, tijeras y una bolsa para extraer el tejido extirpado.

En el ámbito de la formación médica, la simulación juega un papel crucial al permitir a los profesionales practicar en entornos seguros y controlados. Existen diferentes tipos de simuladores, desde los de baja tecnología (como modelos anatómicos simples para practicar habilidades básicas) hasta los de alta fidelidad (maniqués computarizados que replican funciones fisiológicas como pulso y respiración) [8]. También se utilizan pacientes simulados (actores entrenados) y programas virtuales interactivos para mejorar la toma de decisiones clínicas. En México, la simulación médica comenzó en la década de 1980, inicialmente enfocada en reanimación cardiopulmonar, y hoy existen centros especializados que integran tecnología avanzada para mejorar la capacitación de los profesionales de la salud y garantizar una atención más segura y eficiente [10].

Este enfoque combinado de técnicas quirúrgicas, manejo de enfermedades agudas y entrenamiento mediante simulación refleja los avances en la medicina moderna, donde la innovación tecnológica y la formación práctica se complementan para optimizar los resultados en la atención al paciente.

El objetivo de este prototipo a escala es el de sentar las bases de diseño y funcionamiento de un simulador de baja fidelidad de un paciente adulto de apendicitis que sea candidato para una apendicectomía laparoscópica buscando desarrollar las habilidades motoras básicas necesarias a través de la práctica y la repetición mediante el mismo.

Metodología

Para el desarrollo del prototipo de este simulador enfocado en apendicectomía laparoscópica, se siguieron las siguientes fases:

- I. *Diseño 3D del modelo anatómico:* Se utilizó el software Blender para modelar tridimensionalmente la estructura del abdomen, el colon ascendente y el apéndice. El diseño fue elaborado a una escala de 1:3 con respecto al tamaño promedio de un torso humano en la población mexicana.
- II. *Preparación para impresión 3D:* Los modelos 3D fueron exportados en formato STL y posteriormente laminados mediante Bambu Studio para generar los archivos g-code necesarios para poderlos imprimir en 3D.
- III. *Fabricación del modelo físico:* En la elaboración de las piezas se utilizó filamento PLA, fue elegido debido a su disponibilidad y bajo costo. El modelo impreso sirvió como base para la cavidad abdominal del simulador.

- IV. *Elaboración de componentes blandos:* Con el modelo del apéndice y el colon ascendente, se diseñó un molde en Bambu Studio con el diseño del apéndice y colon hecho en Blender, con esto generar la pieza con hidrogel. Esta se fabricó empleando agar-agar de grado alimenticio, debido a su textura y resistencia que llega a ser similar a tejidos humanos reales.
- V. Para el desarrollo del prototipo se tomó en cuenta la posición de las manos del médico en el proceso de la cirugía y la colocación de los trocares. La ubicación del primer puerto para la inserción de los trocares fue colocado en el tercio superior de la cavidad abdominal, específicamente en la parte superior del ombligo. El segundo puerto se ubicó en la región suprapúbica izquierda y el tercero en la región subumbilical derecha. De esta manera se cumple con el principio de triangulación con una posición ergonómica al momento de la cirugía. [10]-[12]
- VI. Pruebas de consistencia del hidrogel: Se realizaron pruebas con proporciones diferentes para verificar la textura del hidrogel. Estas pruebas consistieron en tres mezclas distintas de agar-agar con agua (400 mL/10 g, 300 mL/15 g y 200 mL/15 g) para determinar la proporción óptima en términos de firmeza y realismo.

Resultados y Discusión

La impresión 3D del modelo del torso se realizó de forma exitosa utilizando una impresora Bambu Lab X1 Carbon y filamento PLA, lo cual permitió obtener una estructura anatómica bastante precisa y con muy buena calidad. El modelo fue impreso a escala de 1:3 (Fig. 1), posteriormente modificado para incluir las incisiones necesarias: una para el ingreso de un cámara (la cual fue reciclada de una laptop en desuso) y dos más para simular las pinzas, las cuales fueron representados por palillos.

La distribución de los orificios se diseñó siguiendo el principio de triangulación quirúrgica. La cámara fue colocada a nivel del ombligo, mientras que los orificios para la instrumentación fueron colocados con uno a 3 cm por debajo del ombligo y otro a 4 cm hacia abajo y a la derecha, respetando el principio de triangulación quirúrgica que replica la posición típica utilizada en una apendicectomía laparoscópica.

En cuanto a las piezas internas se diseñó un molde para el colon y el apéndice, los cuales se reprodujeron utilizando agar-agar de grado alimenticio como base de hidrogel. Se realizaron múltiples pruebas para encontrar la proporción óptima que permitiera una textura realista:

- Primera prueba: con 400 mL de agua y 10 g de agar, presentó una mezcla con una textura demasiado líquida (Fig. 2).
- Segunda prueba: con 300 mL de agua y 15 g de agar, logró una consistencia más firme y cercana a lo esperado. La pieza obtenida en esta prueba pesó 96 g (Fig. 3).
- Tercera prueba: con 200 mL de agua y 15g de agar, resultó en una mezcla con textura pareciéndose al puré. La pieza pesó 80g (Fig. 4), mientras que la figura del colon con apéndice pesó 9g (Fig. 5).

Considerando los resultados, se determinó que la proporción ideal se encuentra entre 250 mL y 300 mL de agua con 15 g de agar, así se proporciona un equilibrio entre firmeza y flexibilidad al hidrogel, haciendo que se logre una textura más realista para la simulación.

Finalmente, se realizaron pruebas con la cámara que se agregó, de esa forma se logró capturar imágenes del interior del modelo con la última versión del hidrogel en su lugar correspondiente.

Conclusiones

A través de este proyecto se demostró que es posible construir una herramienta de simulación funcional, didáctica y de bajo costo utilizando tecnologías accesibles como la impresión 3D y materiales como el agar agar. La calidad del modelo anatómico fue satisfactoria y permitió replicar condiciones básicas de una intervención quirúrgica real, incluyendo la disposición de los trocares.

Las pruebas experimentales con hidrogel permitieron identificar proporciones ideales (250 mL–300 mL de agua por cada 15 g de agar) para lograr una textura similar a la de los tejidos humanos, lo cual es fundamental para el entrenamiento psicomotor. Además, el diseño modular del simulador permite su mejora futura mediante la integración de nuevos componentes o sensores.

A futuro, se sugiere ampliar su uso para prácticas colaborativas, integrar retroalimentación háptica o evaluar su efectividad en programas formativos mediante estudios comparativos con simuladores comerciales.

Referencias

- [1] MedlinePlus, “Laparoscopia,” MedlinePlus.gov, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/pruebas-de-laboratorio/laparoscopia/>
- [2] Memorial Sloan Kettering Cancer Center, “Laparoscopia de diagnóstico.” [En línea]. Disponible en: <https://www.mskcc.org/es/cancer-care/patient-education/laparoscopy>
- [3] Mayo Clinic, “Apendicitis,” mayoclinic.org, ene. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/appendicitis/symptoms-causes/syc-20369543>
- [4] P. Ansari, “Apendicitis,” Manual MSD Versión Para Profesionales, 9 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.msmanuals.com/es/professional/trastornos-gastrointestinales/abdomen-agudo-y-gastroenterolog%C3%ADa-quir%C3%BArgica/appendicitis>
- [5] Hospital General de México, “Apendicitis aguda,” [En línea]. Disponible en: https://hgm.salud.gob.mx/descargas/pdf/area_medica/pedia/3_apendicitis.pdf
- [6] C. Fortea Sanchis et al., “Apendicectomía laparoscópica frente al abordaje abierto para el tratamiento de la apendicitis aguda,” ScienceDirect, jun. 2012.
- [7] G. Z. Larequi, “Cirugía laparoscópica. Tratamiento,” Clínica Universidad de Navarra. [En línea]. Disponible en: <https://www.cun.es/enfermedades-tratamientos/tratamientos/cirugia-laparoscopica>
- [8] S. D. De Soluciones SLU, “Revista Cirugía Andaluza,” Asociación Andaluza de Cirujanos, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.asacirujanos.com/revista/2019/30/1/04>
- [9] R. Torres, M. C. Marecos y G. Vallejos Pereira, “Generalidades de la cirugía laparoscópica: equipamiento e instrumental,” sacd.org, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://sacd.org.ar/wp-content/uploads/2020/10/I-116-laparoscopia-gral.-1.pdf>
- [10] T. D. Moreno Hilarios, “Diseño y construcción de un prototipo de simulador con realidad virtual para cirugía laparoscópica,” Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, 2017.
- [11] F. Ramos Salgado, J. Quintero Becerra y N. Hernández Toríz, “Modelo para entrenamiento de cirugía laparoscópica urológica,” Revista Mexicana de Urología, vol. 70, no. 1, pp. 31–35, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/uro/ur-2010/ur101h.pdf>
- [12] J. N. D. L. Filho et al., “Construction of a laparoscopic appendectomy model,” Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões, vol. 51, ene. 2024. doi: 10.1590/0100-6991e-20243770-en.
- [13] Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons (SAGES), “Información para el paciente: Apendicectomías laparoscópicas,” [En línea]. Disponible en: <https://www.sages.org/publications/patient-information/informacion-para-el-paciente-apendicectomias-laparoscopicas/>

Anexo



Figura 1 Torso 3D impreso a una escala de 1:3.



Figura 2 Colon de hidrogel partido, poca firmeza y consistencia gelatinosa.



Figura 3 Primera pieza de la segunda prueba, presenta una deformación con respecto al recipiente utilizado.



Figura 4 Segunda pieza de la tercera prueba, conserva la forma del recipiente.



Figura 5 Colon y apéndice de hidrogel completo con mayor firmeza conservando la forma sin romperse.