

# Diseño, fabricación y evaluación inicial de un simulador quirúrgico de anastomosis biliar con impresión 3D

## Design, manufacturing, and initial evaluation of a 3D-printed surgical simulator for biliary anastomosis

Rodrigo Antonio Gasque<sup>1,\*</sup>, Noelia Zaietta<sup>2</sup>, Lourdes Mollard<sup>3</sup>, José Gabriel Cervantes<sup>4</sup>, Magalí Chahdi Beltrame<sup>5</sup>, Marcelo Enrique Lenz Virreira<sup>6</sup>, Francisco Juan Mattera<sup>7</sup>, Emilio Gastón Quiñonez<sup>8</sup>

Unidad de cirugía hepatobiliar compleja, pancreática y trasplante hepático, Hospital de Alta Complejidad "El Cruce", Florencio Varela, Buenos Aires, Argentina

- 1 [rgasque@outlook.com](mailto:rgasque@outlook.com), ORCID ID 0000-0002-0579-8125
- 2 [nzaietta@gmail.com](mailto:nzaietta@gmail.com), ORCID ID 0000-0002-3644-6237
- 3 [lourdes.mollard@gmail.com](mailto:lourdes.mollard@gmail.com), ORCID ID 0000-0001-6504-7406
- 4 [gabacervantes@gmail.com](mailto:gabacervantes@gmail.com), ORCID ID 0000-0002-5133-3425
- 5 [magalichahdi@gmail.com](mailto:magalichahdi@gmail.com), ORCID ID 0000-0001-5138-0400
- 6 [marcelo.e.lenz@gmail.com](mailto:marcelo.e.lenz@gmail.com), ORCID ID 0000-0001-9087-8703
- 7 [fjmattera@gmail.com](mailto:fjmattera@gmail.com), ORCID ID 0000-0002-1773-353X
- 8 [egq1973@gmail.com](mailto:egq1973@gmail.com), ORCID ID 0000-0003-4167-8814

\* Correspondencia: [rgasque@outlook.com](mailto:rgasque@outlook.com)

Recibido: 1/10/24; Aceptado: 18/10/24; Publicado: 21/10/24

### Resumen

**Introducción:** La simulación médica ha demostrado mejorar las habilidades quirúrgicas de los cirujanos en un entorno seguro. La impresión 3D ofrece una alternativa de bajo costo para el aprendizaje técnico. El objetivo de este trabajo fue describir la creación de un simulador de anastomosis biliar con fabricación aditiva y evaluarlo por cirujanos en diversas etapas de formación. **Métodos:** Estudio retrospectivo, descriptivo y observacional con muestreo no probabilístico. El simulador de anastomosis biliar se creó con impresión 3D y moldeo en silicona líquida. Fue Evaluado mediante una encuesta tipo Likert. Se midió fidelidad, funcionalidad y calidad educativa. Se calculó el costo total del dispositivo. Se aplicó estadística descriptiva. **Resultados:** Doce personas evaluaron el simulador: 3 cirujanos HPB, 4 residentes HPB y 5 cirujanos generales en formación. La edad promedio fue de  $35,33 \pm 11,02$  años. El 75% tenía experiencia con simuladores inorgánicos y el 50% en anastomosis biliares. La experiencia quirúrgica previa promedio fue de  $9,75 \pm 11,01$  años. La precisión anatómica (2,58/5) y similitud con el conducto biliar (2,67/5) fueron los puntos más débiles. La funcionalidad (3,83/5) y durabilidad (4,83/5) fueron bien valoradas. La calidad educativa recibió 4,67/5. La autoeficacia varió según la experiencia: cirujanos HPB (1,11/5), residentes (3,42/5) y rotantes (5/5). La evaluación global fue de 4,5/5. **Conclusiones:** Nuestro estudio confirmó la viabilidad de un simulador 3D para anastomosis biliar, utilizando fabricación aditiva y moldeoado con silicona. Este modelo accesible facilita el aprendizaje de anastomosis biliares en cirujanos en formación. Futuras investigaciones deben demostrar su eficacia educativa y validez.

**Palabras clave:** conductos biliares; entrenamiento simulado; anastomosis quirúrgica; simulación quirúrgica

### Abstract:

**Background:** Medical simulation has proven to enhance surgeons' skills in a safe environment. 3D printing offers a low-cost alternative for technical learning. This study describes the creation of a

biliary anastomosis simulator using additive manufacturing and its initial evaluation by surgeons at various training stages. Methods: A retrospective, descriptive, observational study with non-probabilistic sampling was conducted. The biliary anastomosis simulator was created using 3D printing and liquid silicone molding. It was evaluated through a Likert-type survey, measuring fidelity, functionality, and educational quality. The total cost of the device was calculated. Descriptive statistics were applied. Results: Twelve participants evaluated the simulator: 3 HPB surgeons, 4 HPB residents, and 5 general surgery residents. The average age was  $35.33 \pm 11.02$  years. Of the sample, 75% had experience with inorganic simulators, and 50% had experience in biliary anastomoses. The average surgical exposure was  $9.75 \pm 11.01$  years. The weakest points were anatomical accuracy (2.58/5) and similarity to the bile duct (2.67/5). Functionality (3.83/5) and durability (4.83/5) were highly rated. Educational quality received a score of 4.67/5. Self-efficacy varied by experience: HPB surgeons (1.11/5), residents (3.42/5), and rotating residents (5/5). The overall evaluation was 4.5/5. Conclusions: Our study confirmed the feasibility of a 3D biliary anastomosis simulator using additive manufacturing and silicone molding. This accessible model facilitates the learning of biliary anastomoses among surgeons in training. Future research should demonstrate its educational efficacy and validity.

**Keywords:** bile ducts; simulation training; anastomosis, surgical; simulation, surgical

---

## 1. Introducción

La educación médica basada en la simulación juega un papel crucial en el desarrollo de las habilidades de los cirujanos, permitiendo mejorar sus destrezas técnicas en un entorno seguro y sin riesgos. De esta manera, el cirujano en formación tiene la oportunidad de cometer errores, enriquecerse de ellos y perfeccionar sus habilidades sin poner en peligro la seguridad del paciente (1). Existen diversos modelos y dispositivos que emplean la simulación como método para el entrenamiento quirúrgico (2). En términos generales, los simuladores en cirugía se pueden clasificar en orgánicos e inorgánicos (3). Mientras que los simuladores orgánicos, ya sean *in-vivo* en animales o cadavéricos, poseen una alta fidelidad y realismo, los modelos inorgánicos tienden a ser menos fieles, resultando costosos y pudiendo no adaptarse completamente a las necesidades del alumno<sup>4</sup>. La impresión 3D ha emergido en la educación médica basada en la simulación como una alternativa de bajo costo para el aprendizaje de habilidades técnicas (4). La ejecución repetitiva de actos quirúrgicos simulados puede mejorar la seguridad, velocidad y fluidez técnica del cirujano en formación en comparación con los métodos de aprendizaje tradicionales (1). Dado que contamos con una residencia posbásica en cirugía hepatopancreatobiliar (HPB) y trasplante hepático, nos propusimos desarrollar un simulador quirúrgico de anastomosis biliar término-terminal. Este programa de formación posbásica, de 3 años de duración, expone de forma progresiva y tutelada a los residentes a procedimientos de creciente complejidad. Esta técnica de reconstrucción es ampliamente utilizada en trasplantes hepáticos y en la reparación de lesiones quirúrgicas de la vía biliar detectadas durante la cirugía (5). Nuestros residentes comienzan a realizar esta técnica al finalizar su primer año de formación y durante todo su segundo año.

El objetivo principal de este trabajo fue describir la creación y desarrollo de un simulador de anastomosis biliar término-terminal mediante la implementación de tecnologías de fabricación aditiva, así como proporcionar una evaluación inicial del mismo por cirujanos en distintas etapas de formación.

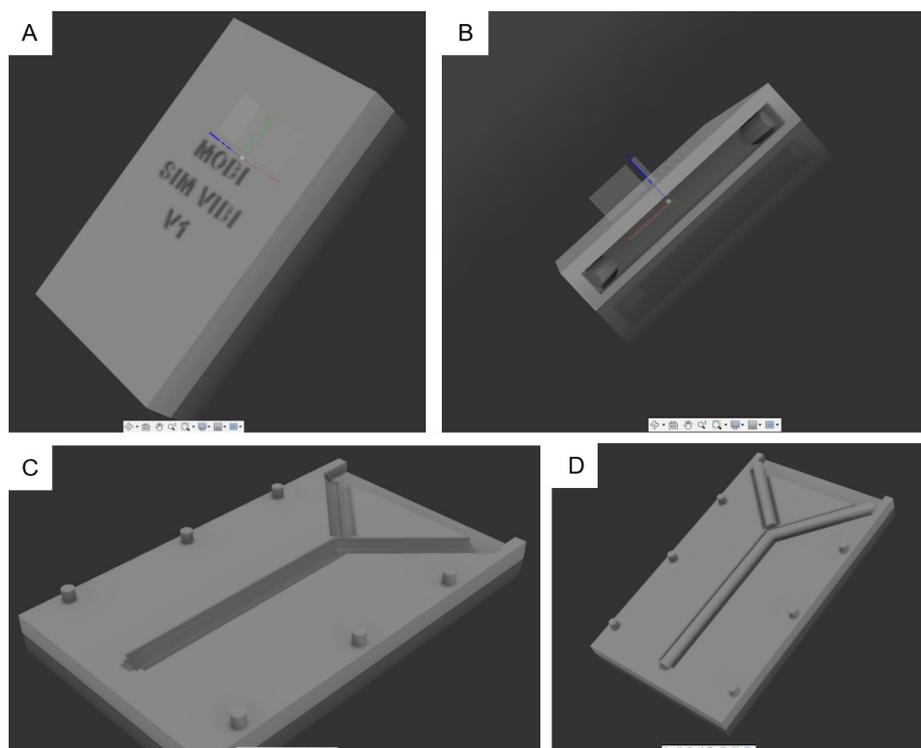
## 2. Métodos

Este fue un estudio retrospectivo, descriptivo y observacional creado utilizando muestreo no probabilístico por conveniencia. El simulador fue diseñado para capacitar a

los residentes de cirugía HPB y trasplante hepático. El mismo se creó a principio del mes de diciembre de 2023 con la colaboración de dos grupos: el equipo del Área de Modelado Biomédico de la institución y cirujanos del servicio de cirugía HPB y trasplante hepático. Tras el desarrollo y producción del simulador, se llevó a cabo su evaluación entre los meses de enero y abril de 2024 en el Centro de Simulación por parte de cirujanos especialistas, residentes y rotantes (habitualmente residentes de cirugía general) del servicio para determinar su fidelidad, funcionalidad y calidad docente.

El simulador fue creado utilizando técnicas de fabricación aditiva mediante impresión 3D y moldeo con silicona líquida. Para el diseño del mismo se emplearon los siguientes programas: Autodesk Fusion 360® y su aplicación Meshmixer® para modelado 3D (Autodesk Inc, Mill Valley, California, Estados Unidos) y el software de impresión Simplify3D® (Simplify3D Soft, Cincinnati, Ohio, Estados Unidos). Los materiales utilizados para construir el simulador fueron:

- Para el molde negativo o la estructura impresa en 3D: se empleó filamento de ácido poliláctico (PLA) de 1,75 mm en color SILK® azul (Grilon3, Chivilcoy, Buenos Aires, Argentina).
- Para el molde positivo o simulador en sí mismo: se utilizó silicona líquida de curado por adición a base de platino 10A 00-20 FAST® (Smooth-On Inc, Macungie, Pensilvania, Estados Unidos). Esta silicona, caracterizada por su translucidez, presenta una viscosidad de 7000-9000 centipoises (cps), una dureza Shore de 0010, una resistencia a la tracción de 300 Psi, una resistencia al desgarro de 80 Pli, un alargamiento del 600%, y una contracción del 0,1%.

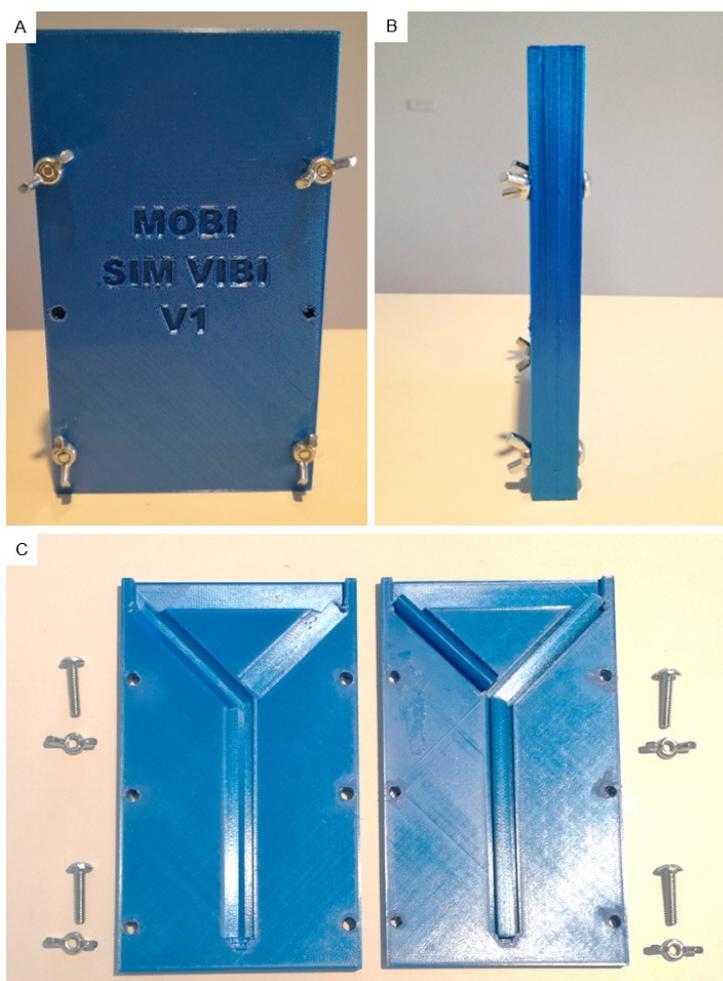


**Figura 1.** Renderizado 3D del molde del modelo en Autodesk Fusion 360®. (A) Vista general, externa. (B) Extremo superior donde se realiza el vertido de la silicona. (C) Mitad superior con el canal de vertido. (D) Mitad inferior con las varillas en posición

El simulador está compuesto por un molde impreso en 3D, el cual cumple la función de negativo para verter la silicona. El diseño del molde del simulador (figura 1) fue concebido para reproducir la estructura fundamental de la vía biliar principal,

representando el colédoco/conducto hepático común y su bifurcación respectiva en los conductos hepáticos derecho e izquierdo. De esta manera, se logra obtener una estructura cilíndrica hueca uniforme de 10 mm de diámetro, con paredes de 2 mm de espesor y una luz interna de 6 mm. Luego del desmolde y recorte final, se obtiene un modelo de 130 mm de longitud. El diseño consta de dos mitades que se unen y se comprimen mediante tornillos y tuercas mariposas, creando así el túnel necesario para el vertido de la silicona. Se diseñaron dos varillas de 6 mm de diámetro para encajar en este túnel y asegurar que el conducto biliar sea hueco.

Para fabricar el simulador, fue necesario ensamblar correctamente el molde para permitir verter la silicona directamente en él (figura 2). En primer lugar, se ubicaron adecuadamente todos los componentes impresos en 3D. Es importante señalar que se incorporaron tres muescas en los extremos del modelo para asegurar la colocación adecuada de las varillas durante el vertido, además de un receptáculo en la parte superior para prevenir posibles derrames. Esta silicona comercial consta de 2 compuestos: un reactivo A y un reactante B que deben mezclarse bien en partes iguales antes del vertido, permitiendo un tiempo de trabajo de 30 minutos antes de comenzar a endurecerse. El modelo se llena completamente con 15 cc del compuesto final. Este debe secarse durante un período de 4 a 6 horas, dependiendo de las condiciones de humedad ambiental (23°C, según las indicaciones del fabricante).



**Figura 2.** Molde impreso y finalizado, listo para realizar el proceso de vertido. (A) Vista externa, anterior y (B) lateral con cuatro tornillos mariposa que aseguran la estanqueidad del molde. (C) Detalle interno de los componentes.

Para minimizar la presencia de burbujas de aire, la mezcla combinada de silicona se vertió de manera gradual, y se golpeó suavemente el molde en los lados y sobre la mesa. Este procedimiento facilitó el desplazamiento de la silicona a lo largo de los túneles y permitió que las burbujas de aire se liberaran. El proceso de extracción implicó separar las dos mitades exteriores del molde. No fue necesaria la aplicación de ningún agente desmoldante para facilitar la extracción. Las varillas se empujaron fuera de la silicona, y el exceso de material se cortó para dar forma al conducto biliar. Las propiedades del material permiten fijarlo a varias superficies para asegurar que pueda ser fácilmente suturada por los usuarios. El simulador completo se muestra en la figura 3.



**Figura 3.** Modelo finalizado posterior al proceso de curado, listo para realizar la anastomosis.

La técnica de anastomosis término-terminal practicada es la estándar realizada en la reconstrucción biliar de los trasplantes hepáticos en adultos con donante cadavérico en nuestro centro. El material utilizado fue: portaagujas Castroviejo (17 cm), pinzas atraumáticas DeBakey (16 cm), tijera Metzembraum curva (14 cm), sutura de polipropileno 6-0 PROLENE® según necesidad (*Ethicon Inc, Cincinnati, Ohio, Estados Unidos*; doble aguja 13 mm,  $\frac{3}{8}$  de circunferencia, 75 cm) y pinzas Mosquito rectas o curvas protegidas con funda de silicona para traccionar los hilos de reparo. La técnica se resume en los siguientes pasos: el usuario, ubicado a la derecha del modelo, corta el ducto principal a la altura deseada para obtener dos cabos a anastomosar, luego, comienza por dar un punto en el extremo proximal del cabo distal (hora tres) de los cabos a anastomosar, utilizando un hilo con dos agujas, siguiendo el sentido "de afuera hacia dentro y de dentro hacia afuera" (Fig. 4-A). Después de anudar y reparar uno de los extremos con una pinza Mosquito protegida, se ingresa al lumen por el extremo distal del cabo proximal y se inicia con el surget (sutura continua) posterior, procurando tomar todo el espesor de la vía biliar y manteniendo la simetría tanto como sea posible. Al terminar, se sale nuevamente al exterior a través del cabo caudal y se repara el hilo (hora 9, Fig. 4-B). Para fijar el surget posterior, se realiza un punto simple en hora 9, que se anuda primero sobre sí mismo en forma extraluminal, y luego al hilo del surget. Al finalizar este plano, todos los hilos son reparados (Fig. 4-C). El plano anterior se realiza mediante puntos simples con hebras del mismo material, siguiendo los mismos principios que el surget posterior. Se efectúan de manera intercalada puntos mediales y laterales (Fig. 4-D y Fig. 4-E, respectivamente) hasta llegar a la mitad del plano, momento en el que se difieren para tomar adecuadamente las paredes y no comprometer el plano posterior (Figura 4-F). Después de anudar los últimos puntos, se cortan todos los hilos, finalizando así la anastomosis (plano anterior Fig. 4-G, plano posterior Fig. 4-H). Cada

participante fue ayudado por el primer autor y utilizó magnificación con lupas quirúrgicas galileanas de 2.5X.

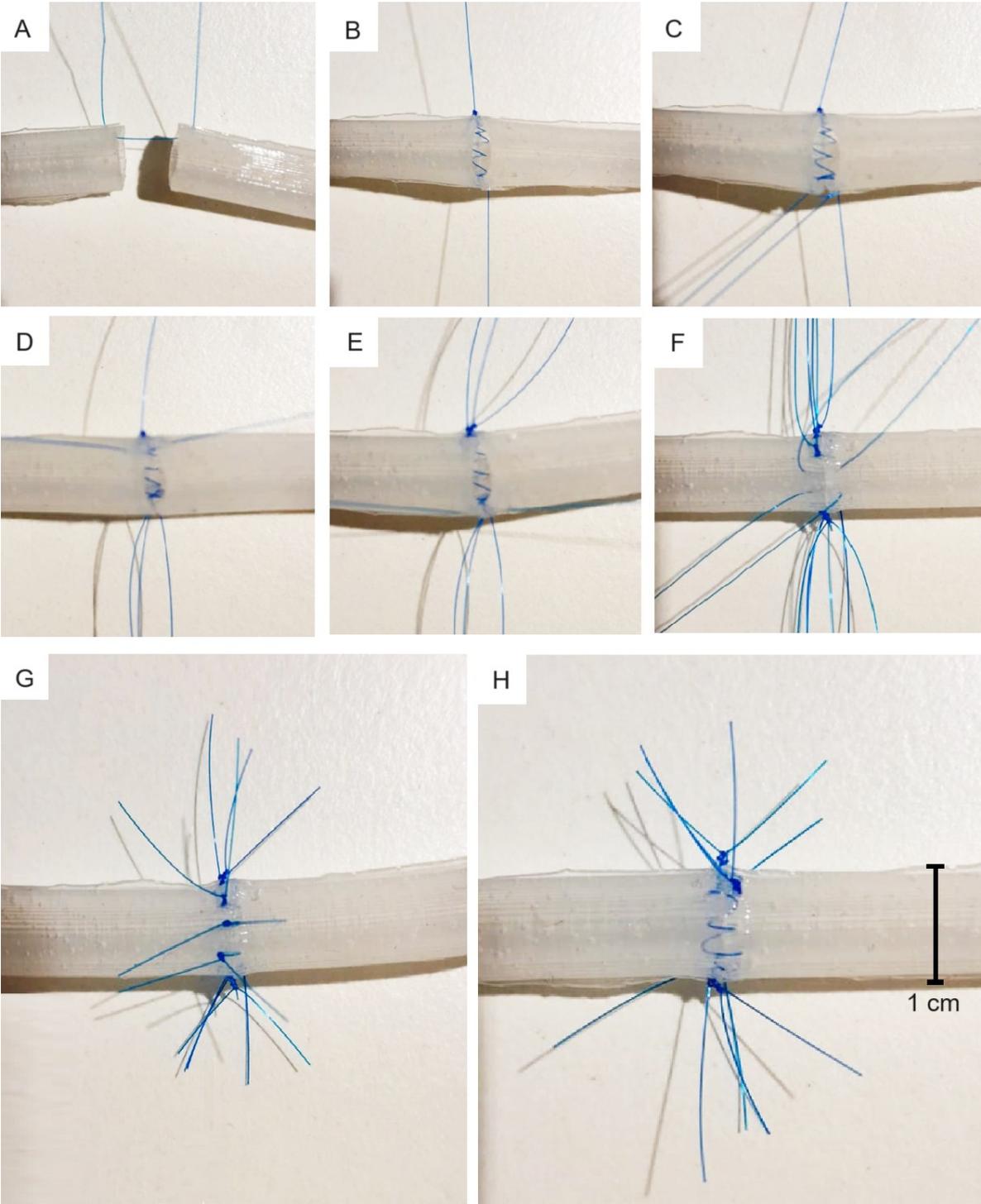
El modelo fue evaluado a través de una encuesta siguiendo una versión modificada de la plantilla *Michigan Standard Simulation Experience Scale* (MiSSES) (6) para evaluar la fidelidad, funcionalidad y calidad de enseñanza del simulador. Todos los participantes dieron su consentimiento informado y aprobación para participar en la encuesta. Los datos personales han sido tratados de acuerdo con la leyes de protección de datos. Esta encuesta consta de cuatro secciones:

1. Datos demográficos generales,
2. Autoeficacia: grado en el que el simulador mejora la percepción del aprendiz sobre su habilidad o comodidad para completar la tarea,
3. Fidelidad: evaluación de atributos generales o específicos del simulador, como el realismo o la fidelidad en su totalidad o de sus componentes,
4. Calificación general: evaluación global de la experiencia educativa.

En total, se incluyeron 16 preguntas tipo *Likert* de cinco niveles de respuesta obligatoria, detalladas en la tabla 1. La encuesta fue creada y completada en Google Forms® al finalizar la práctica. El costo total de los materiales del simulador fue calculado en pesos argentinos (ARS) y expresado en dólares estadounidenses (USD, cambio oficial) al momento de la realización del mismo. Se incluyó tanto el molde negativo impreso en 3D como el producto final en silicona. Las variables de la encuesta se consideraron datos ordinales(7-8) y se presentaron utilizando estadísticas descriptivas, tanto como frecuencias de distribución para cada pregunta como promedio y desvío estándar (DE). Los datos fueron cargados y analizados en Microsoft Excel® 16 (*Microsoft Corp, Redmond, Estados Unidos*).

**Tabla 1.** Encuesta realizada a los participantes del estudio al finalizar el procedimiento. El valor “uno” representa el puntaje más bajo o totalmente en desacuerdo con la afirmación; por el contrario, el valor “cinco” representa el puntaje más alto o totalmente de acuerdo con la afirmación.

N°	Secciones y variables
	Datos demográficos generales
1	Apellido y nombre
2	Edad
3	¿Tiene experiencia previa en simuladores inorganicos? (Si/No)
4	¿Tiene experiencia previa en anastomosis biliares? (Si/No)
5	Años de exposición quirúrgica
	Autoeficacia (escala del 1 al 5)
6	Este modelo ayudó a mejorar mi conocimiento sobre el procedimiento.
7	Este modelo ayudó a mejorar mi confianza al realizar el procedimiento.
8	Este modelo ayudó a mejorar mi capacidad para realizar el procedimiento.
	Fidelidad (escala del 1 al 5)
9	El simulador utilizado tiene características anatómicamente precisas.
10	¿Qué tan preciso se sintió el conducto biliar?
11	¿Qué tan bien pudo suturar el conducto biliar?
12	¿Qué tan duradero cree que es el simulador?
13	¿Qué tan difícil fue utilizar el modelo?
14	Es una herramienta de capacitación útil para el procedimiento en cuestión.
15	Comparta comentarios/sugerencias para mejorar el simulador
16	Evaluación global del modelo (escala del 1 al 5)



**Figura 4.** Detalle técnico de la anastomosis realizada.

### 3. Resultados

En total, 12 personas probaron y evaluaron el simulador. Esta muestra estaba compuesta por 3 cirujanos HPB, 4 residentes de cirugía HPB y 5 rotantes del servicio (4 residentes de 4° año y 1 cirujano general). La edad promedio fue de  $35,33 \pm 11,02$  años (rango 29–67). Tres cuartas partes de los participantes tenían experiencia en el uso de simuladores inorgánicos ( $n = 9$ ; 75%). La mitad de los participantes tenía experiencia en la realización de anastomosis biliares ( $n = 6$ ; 50%). El promedio de años de exposición quirúrgica, desde el comienzo de la formación en cirugía, fue de  $9,75 \pm 11,01$  años (rango 4–43). Los puntajes obtenidos por la encuesta en cada sección se detallan en la tabla 2.

Los puntos más débiles del simulador fueron la precisión anatómica (2,58/5; DE = 0,79) y el nivel de similitud con el conducto biliar (2,67/5; DE = 0,98). La funcionalidad del simulador parece ser un punto destacado, con una respuesta promedio de 3,83/5 (DE = 1,4) sobre cuán bien los usuarios pudieron suturar la pared, mientras que la durabilidad fue calificada con 4,83/5 (DE = 0,39). Al observar los comentarios y recomendaciones sobre el funcionamiento del simulador en la tabla 4, descubrimos que muchas sugerencias para mejorar la fidelidad incluían hacer los conductos biliares más delgados y colorearlos, principalmente de verde o verde oscuro. Aunque el simulador fue altamente valorado por su durabilidad, los comentarios de los usuarios sugieren que la resistencia y dureza del modelo lo hacen menos preciso.

Otro resultado notable es la calidad educativa del simulador, que fue calificada con 4,67/5 (DE = 0,65) para su uso como herramienta de entrenamiento. La sección de autoeficacia recibió globalmente puntajes menores que la de fidelidad (3,5/5 vs. 3,72/5 respectivamente). Hubo amplia variabilidad de respuestas, de acuerdo con la experiencia y exposición previa al procedimiento, sobre la utilidad del modelo a la hora de mejorar el conocimiento, confianza y capacidad. Si bien no se contempló el análisis estratificado según exposición quirúrgica y experiencia, pudimos observar que la valoración global de autoeficacia para los cirujanos HPB experimentados fue de 1,11/5 (DE = 0,33), para los residentes fue de 3,42/5 (DE = 1,78) y para los rotantes de 5/5 (DE = 0). La evaluación global del modelo arrojó un puntaje de 4,5/5 (DE = 0,52), considerándolo, especialmente por los más experimentados, como una herramienta útil para sistematizar la ejecución del procedimiento y generar destreza a la hora de realizarlo en los pacientes.

**Tabla 2.** Puntaje obtenido de la valoración del modelo por parte de los participantes.

N°	Secciones y variables	Media $\pm$ D.E.
	Autoeficacia (escala del 1 al 5)	
1	Este modelo ayudó a mejorar mi conocimiento sobre el procedimiento.	3,33 $\pm$ 2,06
2	Este modelo ayudó a mejorar mi confianza al realizar el procedimiento.	3,5 $\pm$ 1,93
3	Este modelo ayudó a mejorar mi capacidad para realizar el procedimiento.	3,67 $\pm$ 1,72
	Fidelidad (escala del 1 al 5)	3,72 $\pm$ 1,3
4	El simulador utilizado tiene características anatómicamente precisas.	2,58 $\pm$ 0,79
5	¿Qué tan preciso se sintió el conducto biliar?	2,67 $\pm$ 0,98
6	¿Qué tan bien pudo suturar el conducto biliar?	3,83 $\pm$ 1,4
7	¿Qué tan duradero cree que es el simulador?	4,83 $\pm$ 0,39
8	¿Qué tan difícil fue utilizar el modelo?	3,75 $\pm$ 1,36
9	Es una herramienta de capacitación útil para el procedimiento en cuestión.	4,67 $\pm$ 0,65
10	Evaluación global del modelo (escala del 1 al 5)	4,5 $\pm$ 0,52

El costo de adquisición de los materiales, calculado en diciembre de 2023, fue el siguiente:

- 1 kg de silicona líquida de curado por adición a base de platino 10A 00-20 FAST® (Smooth-On Inc, Macungie, Pensilvania, Estados Unidos) a un costo de AR\$ 13.570 o U\$D 15,39;
- 500 g de filamento PLA 1,75 mm color SILK® azul (Grilon3, Chivilcoy, Buenos Aires, Argentina) a un precio de AR\$ 7.699 o U\$D 8,73.

El precio total fue de AR\$ 21.269 (U\$D 24,01). Teniendo en cuenta que se utilizaron 166 g de PLA para la impresión del molde (AR\$ 2.556) y 15 g de silicona para el vertido del modelo (AR\$ 203,55), el costo por cada uno fue de AR\$ 2.759,55 o U\$D 3,13. Con cada compra, se podrían realizar 3 moldes en PLA y 66 modelos de vía biliar.

**Tabla 3.** Comentarios y sugerencias de los participantes para mejorar el modelo.

N°	Aporte
1	Sería útil elevar el modelo de la superficie de trabajo y asegurar algún sistema de fijación que ayude a mantener los extremos a anastomosar separados.
2	Mejorar el sistema de fijación tanto del modelo como de la base.
3	Hacer las paredes más delgadas para darle más flexibilidad. Sería conveniente también colorearlo para facilitar la visualización de los bordes.
4	Grosor de la pared. La pared es muy elástica. Falta de maleabilidad, no se colapsa como una vía biliar real. Ver la posibilidad de colorear el modelo para distinguir mejor las paredes.
5	El modelo sirve muchísimo para sistematizar el procedimiento, aprender a utilizar el material de sutura. Si bien no refleja óptimamente la realidad, ayuda a generar hábito quirúrgico.

#### 4. Discusión

Los programas de formación en cirugía están otorgando una creciente relevancia al entrenamiento basado en simulación como respuesta a la necesidad de una mayor eficiencia en el uso del tiempo en el quirófano y para garantizar la seguridad del paciente. La simulación quirúrgica permite formar a los residentes de manera más completa y segura, proporcionándoles un conjunto de habilidades fundamentales antes de realizar un procedimiento sobre el paciente<sup>9</sup>. Es importante destacar que permite, además, exponer a diferentes procedimientos a residentes de centros de menor volumen o no especializados en un área quirúrgica en especial (9). La adquisición de destrezas quirúrgicas requiere de práctica deliberada constante, pudiendo muchas de ellas ser aprendidas fuera del quirófano (10). Se ha demostrado que el entrenamiento en un modelo simulado ha mejorado el desempeño general del residente, con mayor eficiencia en el uso del tiempo y el movimiento, menos errores y menor incomodidad al aplicar sus habilidades quirúrgicas en la atención real del paciente (10).

En la actualidad, los simuladores quirúrgicos se dividen en dos categorías: orgánicos e inorgánicos. Los modelos orgánicos, que abarcan desde animales vivos hasta cadáveres humanos frescos, se consideran en gran medida de alta fidelidad. Sin embargo, esta modalidad plantea una serie de desafíos tanto económicos como ético-legales (11). Esta problemática ha impulsado la búsqueda de otras alternativas enfocadas en la simulación con materiales inorgánicos. De esta forma, el disparador inicial para crear el modelo fue adquirir habilidades operativas que garanticen seguridad, ausencia de riesgo para el paciente, sea accesible económicamente, fácil de reproducir y portátil para permitir un entrenamiento continuo fuera del quirófano.

Aunque el modelo fue bien recibido por los evaluadores, destacando principalmente su sencillez de uso, durabilidad y resistencia, se identificaron algunos aspectos críticos que requieren análisis. Uno de los puntos problemáticos fue la falta de precisión anatómica, particularmente evidente en el diámetro y grosor de las paredes, los cuales influyeron notablemente en las valoraciones negativas. Por otro lado, se observó que la silicona exhibió una notable resistencia al desgarro y la tracción, lo que facilitó la manipulación y el anudado de los puntos, aunque esto se apartó del comportamiento real del tejido. Al incorporar la confluencia biliar al modelo tridimensional, quisimos dotar al simulador de mayor realismo. Sin embargo, este aspecto no influyó finalmente en la ejecución de la tarea. Seguramente tenga utilidad si se plantease simular una bi-hepaticoyeyunoanastomosis o hepaticoyeyunoanastomosis a nivel de la confluencia, remedando otro tipo situaciones clínicas.

Un modelo similar creado por la Universidad de Montreal (12) obtuvo resultados parecidos al nuestro en lo que respecta a durabilidad del material y facilidad de manejo del modelo. Los participantes criticaron de la misma forma la ausencia de realismo. Como diferencias destacables, ellos utilizaron un molde 3D que podía producir 4 simuladores a la vez y colorearon el modelo de verde oscuro desde el principio. Paradójicamente, los usuarios de ese modelo sugirieron que fuera de un color más claro o transparente para facilitar la visualización de los puntos. El estudio realizado por Thomas y cols. (13) demostró la posibilidad de realizar impresiones 3D de los conductos biliares extrahepáticos de manera realista mediante polímeros elásticos, obteniendo propiedades mecánicas similares al tejido real. A diferencia de nuestra experiencia, este modelo fue utilizado para practicar la colocación de stents biliares por vía endoscópica.

Investigadores de la Universidad Autónoma de Nuevo León (14), en México, emplearon técnicas de modelado 3D e impresión con acrilonitrilo butadieno estireno, un tipo de plástico altamente resistente, para fabricar modelos de colecistectomía videolaparoscópica con distintas variantes de la desembocadura del conducto cístico. En su investigación, una vez creado el molde negativo, vertieron caucho de silicona, un material más rígido y manipulable, para confeccionar el modelo definitivo. Lograron una alta tasa de aceptación entre los 30 participantes del estudio y mantuvieron un bajo costo de producción (USD 20,5 por modelo reutilizable).

Otros grupos de trabajo han explorado las aplicaciones de materiales sintéticos para simular tejidos en procedimientos hepatobiliopancreaticos. Por ejemplo, Yoshioka y cols. (15) utilizaron un modelo comercial de páncreas y yeyuno elaborado en alcohol polivinílico para simular una pancreaticoyeyunoanastomosis convencional. Este estudio se centró en mejorar el desempeño técnico y reducir el tiempo requerido para completar la tarea, pero no abordó los aspectos relacionados con los costos ni la aceptación global del modelo. De la misma manera, Oshiro y cols. (16) utilizaron un modelo impreso en el mismo material con adición de "fibras" (no se proporcionan otros detalles) para reducir la tasa de desgarro al suturar. Por otro lado, Fangqiang y cols. (17) combinaron materiales disponibles comercialmente con otros diseñados en 3D e impresos en silicona para simular el mismo procedimiento, utilizando el abordaje robótico en tres escenarios distintos según diámetro del conducto de Wirsung y atrofia de la glándula. A pesar de obtener altas tasas de aceptación entre los tres cirujanos que llevaron a cabo el procedimiento, se reconoció que el tamaño muestral era demasiado pequeño para extraer conclusiones definitivas.

Investigadores del departamento de radiología de la Universidad George Washington (18) llevaron al máximo las aplicaciones y el potencial de la impresión 3D creando un hígado completo, con su segmentación vascular y biliar correspondiente, en poliamida y distintos tipos de resina. Este modelo permitió practicar la toma de biopsias de lesiones

hepáticas, simular procedimientos de quimioembolización transarterial, colocar drenajes percutáneos para drenar abscesos y emplazar un dispositivo TIPS (*transjugular intrahepatic portosystemic shunt*).

Otros usos destacados del diseño e impresión 3D son la planificación preoperatoria y desarrollo de estrategias de abordaje en colangiocarcinomas perihiliares (19), metástasis hepáticas de cáncer colorrectal y carcinomas hepatocelulares (20).

El presente estudio tuvo varias limitaciones. Debido a la naturaleza exploratoria de la investigación, no se utilizaron escalas de evaluación formativa como la OSATS (21) (*Objective Structured Assessment of Technical Skills*), y no se realizó un seguimiento repetido y longitudinal de la muestra. Por lo tanto, no pudimos determinar si el modelo influyó en la mejora de las habilidades quirúrgicas a largo plazo que podrían estar directamente relacionadas con situaciones intraoperatorias reales. Además de ser pequeña, nuestra muestra fue muy heterogénea, ya que incluyó participantes en diversas etapas de formación, desde residentes en cirugía general hasta cirujanos especialistas con más de 40 años de experiencia. Por lo tanto, la evaluación y la crítica final del modelo fueron muy variadas. Estos factores podrían dificultar la interpretación de los resultados y haber incurrido en un sesgo de selección, impidiendo la extrapolación de los hallazgos. Sin embargo, los resultados del presente estudio podrían ciertamente animar a los cirujanos a crear este tipo de dispositivos y/o implementar programas de formación basados en simulación en sus instituciones.

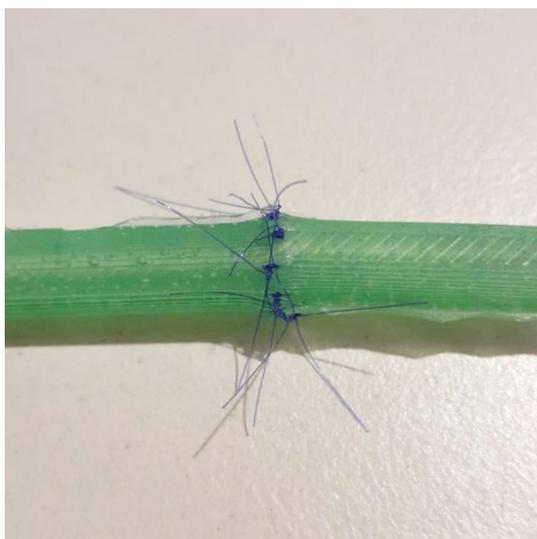
Además de las deficiencias señaladas por los participantes, este modelo simuló una anastomosis con una relación 1:1 entre la vía biliar del donante y la del receptor. En la práctica, suele existir incongruencia entre ambos cabos que requiere diversas variantes técnicas de reconstrucción, como la apertura longitudinal de la cara anterior de la vía biliar para aumentar su diámetro, la realización de anastomosis termino-laterales o, en última instancia, una hepaticoyeyunoanastomosis en Y de Roux. Un paso no considerado por la literatura, pero que podría potencialmente incorporarse a su utilización, es la evaluación de la permeabilidad y hermeticidad de la anastomosis. Algunas propuestas al respecto son la infusión continua a bajo flujo de agua teñida para simular la producción de bilis posterior a la reperfusión hepática, o la instilación directa a través de jeringas con cierre distal del modelo para evaluar fugas.

A pesar de que la inversión inicial no es despreciable, la capacidad de adaptar el modelo según las necesidades educativas de los aprendices, la reutilización del mismo molde y la baja cantidad de silicona necesaria para su creación hacen que sea una opción razonable en términos de costo-beneficio. A modo de experiencia y como corolario de esta investigación, teniendo en cuenta las sugerencias y comentarios de los usuarios, imprimimos en 3D una versión más pequeña y delicada, con paredes de 1 mm, lumen de 6 mm dando un diámetro total de 8 mm teñida de verde oscuro con pintura al temple (figura 5). Aún tenemos pendiente su prueba y evaluación. Si bien una sugerencia frecuente de los entrevistados fue la dificultad que presenta la pared transparente para suturar al no hacer sombra y alterar la percepción de la profundidad, creemos que fue positiva para evaluar el trayecto y simetría del punto en todo su recorrido pudiendo dar una retroalimentación más adecuada al aprendiz.

Creemos que a medida que estos modelos sean más utilizados, los costos de producción y los tiempos de procesamiento disminuirán aún más, lo que permitirá competir con los modelos comerciales disponibles en el mercado, que suelen ser más costosos en general. Además, este tipo de actividad fomenta el trabajo multidisciplinario al involucrar a diversos actores de diferentes departamentos, como ingenieros, técnicos,

licenciados en educación o pedagogía e instrumentadores quirúrgicos. Al igual que en todas las actividades de simulación clínica y quirúrgica, esta se desarrolló en un espacio de aprendizaje y esparcimiento para todos los participantes, permitiéndoles compartir experiencias en un ambiente relajado y libre de presiones y fomentado la camaradería (figura 6). El enfoque de nuestra investigación se centró en la elaboración del informe técnico para desarrollar el simulador y llevar a cabo la evaluación inicial de los operadores. Por consiguiente, el análisis de su validez se encuentra más allá del alcance de este estudio.

Son necesarios nuevos estudios con muestras más amplias y homogéneas, o con grupos estratificados según los niveles de formación, donde se apliquen escalas evaluativas validadas para demostrar la eficacia de este tipo de modelos.



**Figura 5.** Molde teñido de verde con pintura al temple.



**Figura 6.** Residente de cirugía HPB y trasplante hepático de 1º año realizando la evaluación del modelo.

## 5. Conclusiones

- Nuestro estudio demostró la viabilidad del diseño y la fabricación de un simulador 3D para llevar a cabo una anastomosis biliar término-terminal utilizando técnicas de fabricación aditiva y moldeado con silicona. Este modelo ofrece una plataforma

accesible y de fácil implementación para que los residentes de cirugía adquieran habilidades en esta técnica quirúrgica.

- Con algunos ajustes, como la reducción del diámetro y firmeza de los conductos biliares simulados y la mejora de los colores para lograr una apariencia más realista, este simulador tiene el potencial de convertirse en una excelente herramienta para el entrenamiento quirúrgico.
- Investigaciones futuras serán necesarias para demostrar su eficacia educativa, validez y transferencia de estas habilidades al quirófano.

**Material suplementario:** indicar el nombre del archivo y lo que contiene.

**Financiación:** No ha habido financiación.

**Declaración de conflicto of interés:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

**Contribuciones de los autores:** Rodrigo Antonio Gasque (RAG) conceptualizó y diseñó el estudio. RAG, Noelia Zaietta (NZ), y Lourdes Mollard (LM) participaron en la recopilación de datos y en la redacción del manuscrito. José Gabriel Cervantes (JGC) y Magalí Chahdi Beltrame (MCB) colaboraron en el análisis de los datos y la revisión crítica del manuscrito. Marcelo Enrique Lenz Virreira (MELV) proporcionó supervisión técnica y realizó correcciones metodológicas. Emilio Gastón Quiñonez (EGQ) y Francisco Juan Mattera (FJM) participaron en la supervisión general del estudio y en la revisión final del manuscrito. Todos los autores leyeron y aprobaron la versión final del manuscrito.

## Referencias

1. Cardoso SA, Suyambu J, Iqbal J, Cortes Jaimes DC, Amin A, Sikto JT. Exploring the Role of Simulation Training in Improving Surgical Skills Among Residents: A Narrative Review. *Cureus*. 2023 Sep 4;15(9):e44654. <https://doi.org/10.7759/cureus.44654>.
2. Habti M, Bénard F, Arutiunian A, Bérubé S, Cadoret D, Meloche-Dumas L. Development and Learner-Based Assessment of a Novel, Customized, 3D Printed Small Bowel Simulator for Hand-Sewn Anastomosis Training. *Cureus*. 2021 Dec 20;13(12):e20536. <https://doi.org/10.7759/cureus.20536>.
3. Goff BA. Training and assessment in gynaecologic surgery: the role of simulation. *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol*. 2010 Dec;24(6):759-66. <https://doi.org/10.1016/j.bpobgyn.2010.03.006>.
4. Garcia J, Yang Z, Mongrain R, Leask RL, Lachapelle K. 3D printing materials and their use in medical education: a review of current technology and trends for the future. *BMJ Simul Technol Enhanc Learn*. 2018 Jan;4(1):27-40. <https://doi.org/10.1136/bmjstel-2017-000234>.
5. Jabłńska B. End-to-end ductal anastomosis in biliary reconstruction: indications and limitations. *Can J Surg*. 2014 Aug;57(4):271-7. <https://doi.org/cjs.016613>.
6. Seagull FJ, Rooney DM. Filling a void: developing a standard subjective assessment tool for surgical simulation through focused review of current practices. *Surgery*. 2014 Sep;156(3):718-22. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2014.04.048>.
7. Norman G. Likert scales, levels of measurement and the "laws" of statistics. *Adv Health Sci Educ Theory Pract*. 2010 Dec;15(5):625-32. <https://doi.org/10.1007/s10459-010-9222-y>.
8. Jamieson S. Likert scales: how to (ab)use them. *Med Educ*. 2004 Dec;38(12):1217-8. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2004.02012.x>.
9. Fonseca AL, Evans LV, Gusberg RJ. Open surgical simulation in residency training: a review of its status and a case for its incorporation. *J Surg Educ*. 2013;70(1):129-137. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2012.08.007>.
10. Tan SS, Sarker SK. Simulation in surgery: a review. *Scott Med J*. 2011;56(2):104-109. <https://doi.org/10.1258/smj.2011.011098>.
11. Bjerrum F, Thomsen ASS, Nayahangan LJ, Konge L. Surgical simulation: Current practices and future perspectives for technical skills training. *Med Teach*. 2018 Jul;40(7):668-675. <https://doi.org/10.1080/0142159X.2018.1472754>.
12. Micallef J, Sivanathan M, Clarke KM, Habti M, Bénard F, Meloche-Dumas L. Development and Initial Assessment of a Novel and Customized Bile Duct Simulator for Handsewn Anastomosis Training. *Cureus*. 2022 Nov 21;14(11):e31749. <https://doi.org/10.7759/cureus.31749>.

13. Thomas J, Patel S, Troop L, Guru R, Faist N, Bellott BJ. 3D Printed Model of Extrahepatic Biliary Ducts for Biliary Stent Testing. *Materials* (Basel). 2020 Oct 27;13(21):4788. <https://doi.org/10.3390/ma13214788>.
14. Casas-Murillo C, Zuñiga-Ruiz A, Lopez-Barron RE, Sanchez-Uresti A, Gogeochea-Hernandez A, Muñoz-Maldonado GE. 3D-printed anatomical models of the cystic duct and its variants, a low-cost solution for an in-house built simulator for laparoscopic surgery training. *Surg Radiol Anat*. 2021 Apr;43(4):537-544. <https://doi.org/10.1007/s00276-020-02631-3>.
15. Yoshioka R, Imamura H, Ichida H, Gyoda Y, Mizuno T, Mise Y. Simulation training in pancreaticojejunostomy using an inanimate biotissue model improves the technical skills of hepatobiliary-pancreatic surgical fellows. *PLoS One*. 2021 Jan 13;16(1):e0244915. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244915>.
16. Oshiro K, Endo K, Morishima K, Kaneda Y, Koizumi M, Sasanuma H. A structured program for teaching pancreatojejunostomy to surgical residents and fellows outside the operating room: a pilot study. *BMC Surg*. 2021 Feb 25;21(1):102. <https://doi.org/10.1186/s12893-021-01101-w>.
17. Wei F, Xu M, Lai X, Zhang J, Yiengpruksawan A, Lu Y. Three-dimensional printed dry lab training models to simulate robotic-assisted pancreatojejunostomy. *ANZ J Surg*. 2019 Dec;89(12):1631-1635. <https://doi.org/10.1111/ans.15544>.
18. Javan R, Zeman MN. A Prototype Educational Model for Hepatobiliary Interventions: Unveiling the Role of Graphic Designers in Medical 3D Printing. *J Digit Imaging*. 2018 Feb;31(1):133-143. <https://doi.org/10.1007/s10278-017-0012-4>.
19. Larghi Laureiro Z, Novelli S, Lai Q, Mennini G, D'andrea V, Gaudenzi P. There Is a Great Future in Plastics: Personalized Approach to the Management of Hilar Cholangiocarcinoma Using a 3-D-Printed Liver Model. *Dig Dis Sci*. 2020 Aug;65(8):2210-2215. <https://doi.org/10.1007/s10620-020-06326-y>.
20. López A, Nari G, Layun J, Mariot A, López F, De Elías M. Implementation of Three-Dimensional Printed Models in Hepatic Surgery. *Rev Argent Cir* 2022, 114, 262-268. <https://doi.org/10.25132/raac.v114.n3.1623>
21. Martin JA, Regehr G, Reznick R, MacRae H, Murnaghan J, Hutchison C. Objective structured assessment of technical skill (OSATS) for surgical residents. *Br J Surg*. 1997 Feb;84(2):273-8. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2168.1997.02502.x>.



© 2024 Universidad de Murcia. Enviado para su publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Sin Obra Derivada 4.0 España (CC BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).