

## Aplicación de modelos 3D en cirugía hepática Implementation of three-dimensional printed models in hepatic surgery

Alesio E. López , Gustavo A. Nari , José L. Layun , Ana D. Mariot , Flavia G. López , María E. De Elías 

Departamento de  
Cirugía.  
Servicio de Cirugía  
General. Hospital  
Tránsito Cáceres de  
Allende. Córdoba.  
Argentina.

Los autores declaran no  
tener conflictos  
de interés.

Conflicts of interest  
None declared.

Correspondencia  
Correspondence:  
Alesio E. López.  
E-mail: [alesiolopez31@  
gmail.com](mailto:alesiolopez31@gmail.com)

### RESUMEN

La impresión de modelos tridimensionales (M3D) implica obtener una estructura sólida y formada a partir de un modelo digital. Para la reconstrucción 3D se utilizó tomografía computarizada contrastada, realizándose impresión de modelos sobre la base de las principales estructuras anatómicas hepáticas. Se utilizaron M3D en dos pacientes con indicación quirúrgica, una mujer con trombocitopenia familiar y metástasis hepática de adenocarcinoma rectal, sin respuesta a quimioterapia, y un hombre con hepatopatía infecciosa crónica y diagnóstico de carcinoma hepatocelular. La aplicación de M3D resultó de gran utilidad, pues permitió un mejor entendimiento de la relación espacial de las estructuras anatómicas en ambos casos. En nuestra experiencia, la aplicación de M3D fue muy útil para planificar la cirugía y dar una aproximación más certera de los reparos anatómicos. El modelo se obtuvo en 7 días y costó 380 dólares, un valor elevado para nuestro medio.

■ **Palabras clave:** impresiones 3D, cirugía hepática, plan preoperatorio, tomografía computarizada, modelo hepático.

### ABSTRACT

Three-dimensional (3D) printing is the construction of a solid structure from a digital model. 3D reconstruction was performed using contrast-enhanced computed tomography scan, and 3D-printed models were built based on the main anatomic structures of the liver. 3D-printed models were used in two patients with indication of surgery; one woman with inherited thrombocytopenia and liver metastases from colorectal adenocarcinoma with no response to chemotherapy, and one man with chronic liver infection and hepatocellular carcinoma.

The implementation of 3D printing technology was very useful, as it facilitated the understanding of the spatial relationships among the anatomical structures in both cases. In our experience, the use of 3D-printed models was very useful for preoperative planning and for understanding the anatomic landmarks. The model was built in 7 days, with a cost of 380 dollars which is elevated in our environment.

■ **Keywords:** 3D printing, liver surgery, preoperative planning, computer tomography, liver models.

Recibido | Received  
14-07-21  
Aceptado | Accepted  
21-09-21

Alesio E. López, 0000-0001-8412-6265; Gustavo A. Nari, 0000-0002-2559-5704; José L. Layun, 0000-0003-2723-0765; Ana D. Mariot, 0000-0002-1470-8400; Flavia G. López, 0000-0003-2125-175X; María E. De Elías, 0000-0003-4619-4149.

La impresión de modelos tridimensionales (M3D) implica obtener una estructura sólida y formada a partir de un modelo digital. Dicha estructura se logra a través de la utilización de impresoras 3D, las que – mediante la superposición de finas láminas de diversos materiales– conforman la estructura de un órgano o segmento anatómico deseado. Los M3D se imprimen luego de la obtención de imágenes digitales, habitualmente por la utilización de tomografía computarizada (TC) contrastada, aunque también la resonancia nuclear magnética es una opción valedera. La interfaz entre la imagen digital y la impresión 3D requiere programas o *software* para la obtención del modelo. Se han desarrollado múltiples programas para impresiones 3D, uno de ellos es el *software PLUTO*<sup>®</sup> de la Universidad de Nagoya (Japón)<sup>1</sup>, específico para la estructura anatómica de la glándula hepática.

El modelo terminado aporta información sobre las estructuras vasculares, biliares, la disposición del tu-

mor, el sector para reseca y las relaciones entre ellos, permitiendo dar una orientación más precisa sobre los reparos anatómicos para el acto quirúrgico.

Además de facilitar la planificación quirúrgica en el preoperatorio, el modelo puede ser esterilizado y transportado a la sala quirúrgica, lo que mejora la interpretación de la relación espacial entre las estructuras anatómicas<sup>2</sup>.

El objetivo de este trabajo es notificar la experiencia inicial en la aplicación de modelos 3D para cirugía hepática en dos casos.

**Reconstrucción 3D:** para la reconstrucción 3D se utilizó TC con *software* de visualización y segmentación de imágenes DICOM Osirix MD<sup>®</sup> con el que se realizó barrido de contraste para diferenciar las estructuras de interés. Los elementos valorados para la planificación quirúrgica fueron: vena porta, venas suprahepáticas, arteria hepática común y sus ramas, conductos biliares, localización y tamaño tumoral, y la relación entre todos ellos.

**Impresión del M3D:** para la impresión del modelo físico se utilizaron tecnologías diferentes en relación con el caso quirúrgico y orientadas al mayor punto de interés o dificultad planteado por el cirujano.

En el primer caso se utilizó impresora Sigmax® con tecnología FDM (deposición de material fundido) BCN3D – España, desarrollando un modelo bicolor, con escala en tamaño real (1:1). Se diferenció el parénquima hepático de color blanco y las estructuras de interés de diferente color (Fig. 1 A).

Para el segundo caso se empleó impresora FORM 2® (Form Labs)-EE.UU., con tecnología estereolitografía, obteniendo un modelo disminuido del 80% del tamaño completo del hígado y diferenciando las estructuras de múltiples colores (Fig. 1 B).

El material utilizado en los modelos se denomina PLA, plástico termoformable, el cual puede ser fundido y reutilizado para la obtención de reiterados M3D, situación beneficiosa para el cuidado del medioambiente.

**Utilización del modelo:** antes de la intervención, el equipo quirúrgico estudió el modelo planteándose las principales dificultades y la táctica quirúrgica que iba a emplear. Adicionalmente, el modelo fue trasladado al quirófano durante la intervención para poder dar una mejor aproximación espacial de las estructuras al

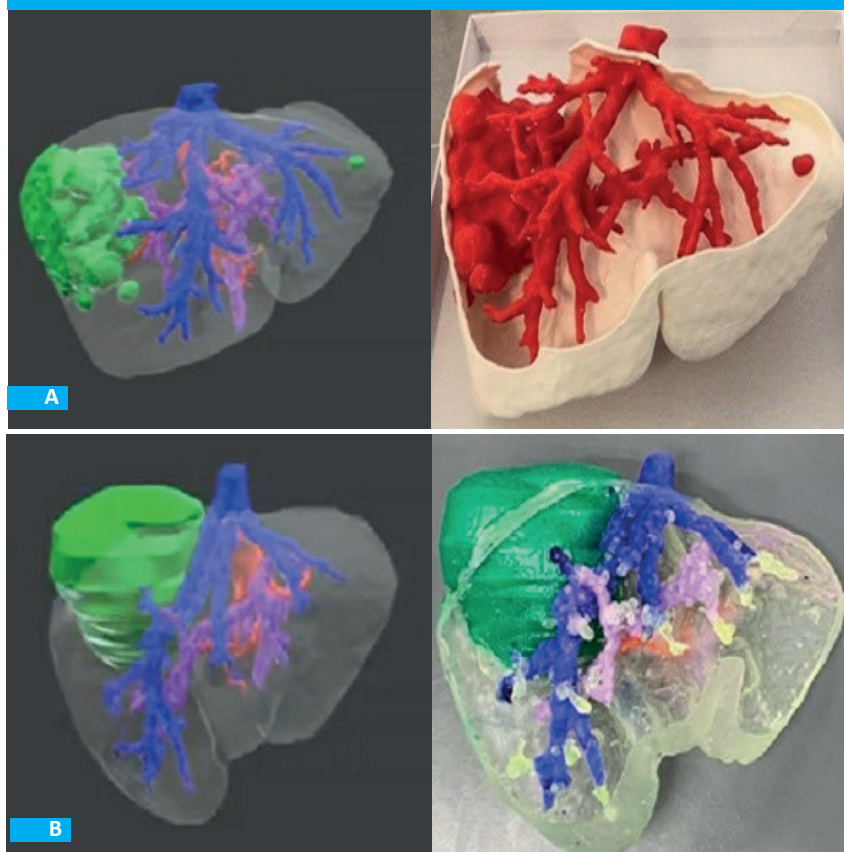
cirujano actuante, el mismo en las dos intervenciones. Se realizó ecografía hepática intraoperatoria como elemento complementario para identificación vascular en ambos casos.

**Caso 1:** El primer caso fue una mujer de 35 años, con antecedentes de trombocitopenia familiar. Había sido intervenida con antelación por adenocarcinoma de recto con resección de recto sigma y posteriormente realizó adyuvancia. Durante el control oncológico se identificó, mediante TC, metástasis hepática de gran tamaño en lóbulo hepático derecho y otra pequeña en segmento III con enfermedad estable. Se indicó terapia con irinotecam pero presentó muy mala tolerancia a ella; el caso fue evaluado entonces por el Comité de Tumores y se decidió conducta quirúrgica. Se realizó hepatectomía derecha y resección limitada del segmento III, lográndose resección R0 (Fig. 2 A).

La paciente no requirió transfusiones de hemoderivados en el intraoperatorio ni en el posoperatorio, y evolucionó favorablemente. A los 6 meses presentó TC y marcadores normales.

**Caso 2:** Es el caso de un hombre de 60 años con antecedentes de hepatitis C, que consultó por dolor leve en hipocondrio derecho de larga evolución. Se solicitó TC abdominal que objetivó lesión hepática tumoral en seg-

■ FIGURA 1



A. Simulación y modelo 3D. Caso 1.

B: Caso 2. Reconstrucción y modelo 3D

mento VI-VII. El laboratorio mostró alfa-fetoproteína aumentada, y, antes de realizar estudios endoscópicos e imagenológicos, se sospechó carcinoma hepatocelular. En un paciente clasificado como Child A se decidió conducta quirúrgica y, sobre la base del modelo 3D, se realizó la resección de los segmentos VI-VII, no requiriendo hemoderivados durante la intervención ni el posoperatorio. El informe de anatomía patológica confirmó resección R0 (Fig. 2 B).

El paciente ingresó en protocolo de Enhance Recovery After Surgery (ERAS) y se le otorgó el alta sin complicaciones al 3<sup>er</sup> día posoperatorio. Presentó control a 9 meses con valores de alfa-fetoproteína y TC normales, desarrollando sus actividades laborales habituales.

La aplicación de M3D resultó de gran utilidad, ya que permitió un mejor entendimiento de la relación espacial de las estructuras anatómicas en ambos casos. Este conocimiento espacial hizo posible resolver de manera eficaz y con mayor seguridad situaciones que antes no lo hacían prever tanto; esto ha sido notificado por Igami y cols., quienes utilizaron M3D junto con ecografía intraoperatoria en hepatectomías menores derechas con partición de sectores anteriores y posteriores, concluyendo que el procedimiento se torna fácil y cómodo<sup>1</sup>. En nuestros casos también se asociaron ambos métodos, teniendo presente que no se excluyen entre ellos, sino que la sumatoria de ambos favorece la toma de decisiones. Dichos autores también aplicaron esta tecnología para cirugía hepática en dos casos de

pacientes con metástasis hepáticas de tumor de colon que fueron tratadas con quimioterapia presentando reducción de estas, lo que las tornó invisibles a la ecografía preoperatoria e intraoperatoria; a pesar de esto y sobre la base de los datos aportados por el M3D se logró una resección adecuada con márgenes quirúrgicos histopatológicamente libres de tumor, demostrando así su factibilidad<sup>2</sup>.

La aplicación de esta tecnología ha sido implementada en el campo de la trasplantología hepática. Nizer y cols. utilizaron M3D en tres pares de pacientes en plan de trasplante hepático con donante vivo, destacando la importancia de esta herramienta, que permite un conocimiento espacial entre las estructuras biliares y vasculares, facilita la cirugía y minimiza las complicaciones intraoperatorias<sup>3</sup>. Otro sector de implementación ha sido la cirugía hepática laparoscópica, abordaje que en la última década ha adquirido gran trascendencia y se encuentra en expansión permanente. La aplicación de M3D para valorar la decisión de abordaje laparoscópico ha sido notificada, entre otros, por Witowski y cols., concluyendo que los modelos son de ayuda en el planeamiento de la extensión de las resecciones hepáticas mayores y complejas por laparoscopia y permiten identificar a los potenciales pacientes que podrían sufrir una falla hepática posresección<sup>4</sup>.

El desarrollo de esta herramienta se basa en imágenes biomédicas adquiridas principalmente por el uso de TC, aunque la resonancia magnética también es útil.

■ FIGURA 2



A: TC abdomen que objetiva metástasis hepática y pieza  
B: Transección con indemnidad de vena suprahepática derecha. Pieza

A pesar de los beneficios demostrados, existen puntos cuestionables, como la exactitud del M3D respecto de la estructura anatómica real, los costos (que generalmente son elevados) y el tiempo de demora para su realización y obtención. Debemos mencionar la repercusión ambiental que se generaría por la utilización del material con que estos modelos se elaboran; sin embargo, en nuestro caso, los M3D pueden triturarse, fundirse y reutilizarse para nuevos modelos, tornando así amigable al material con el medioambiente. Witowski y cols. publicaron en 2018 su investigación en la cual se evaluó la exactitud de los M3D de bajo costo, comparando la imagen tomográfica de la glándula hepática de 15 pacientes con las imágenes tomográficas de los M3D obtenidos a partir de la TC inicial, y demostrando la gran precisión y similitud de los modelos económicos desarrollados<sup>5</sup>. También se han logrado modelos de construcción rápida y bajo costo, y que además permiten relacionar las estructuras vasculares y biliares con la superficie hepática, facilitando de esta forma la definición con mayor precisión de los reparos anatomicos<sup>6</sup>.

Sobre una revisión de 14 artículos se describen M3D económicos de baja calidad y otros complejos conformados por múltiples materiales que les otorgan un costo muy elevado y como consecuencia los hacen poco accesibles, sugiriendo que los primeros citados podrían ser útiles principalmente para propósitos educativos, tanto para colegas como para los pacientes y sus familiares<sup>7</sup>.

Si bien hemos utilizado los modelos en solo 2 pacientes, consideramos que fue de utilidad para planificar la cirugía y facilitarla, ya que nos brindó un mapa muy aproximado de los reparos vasculares que se encontraban desplazados por las lesiones voluminosas y que posteriormente fueron también corroborados con la ecografía intraoperatoria. El tiempo para obtener el modelo fue de unos 7 días, con un costo de 380 dólares, incluyendo el modelo digital y la impresión de este. Si bien el tiempo de obtención fue rápido, los costos en el medio actual de desarrollo de nuestra actividad deben considerarse elevados.

El M3D se correlacionó con nuestra manera de ver con gran exactitud, permitiéndonos disminuir el tiempo quirúrgico, reconocer acabadamente la anatomía y reducir el sangrado principalmente en el caso de la paciente con trombocitopenia familiar; esto último se objetivó por la ausencia de necesidad de transfusión de hemoderivados tanto en el intraoperatorio como en el posoperatorio.

Por lo antes mencionado y fundamentalmente por lo referido en la literatura, pensamos que se podría evaluar su utilización en cirugía hepática, fundamentalmente en casos complejos y seleccionados, valorando su costo-beneficio, los conocimientos que aportaría en el preoperatorio, aproximación y exactitud durante el intraoperatorio, y como herramienta educativa tanto para pacientes como para colegas. Por último, cabría destacar que no hemos encontrado publicaciones científicas nacionales sobre la aplicación de M3D en cirugía hepática.

## ■ ENGLISH VERSION

Three-dimensional (3D) printing is the construction of a solid structure from a digital model using 3D printers which build the structure of a desired organ or anatomical segment by laying down many successive thin layers of building material. 3D-printed models are generated from digital images obtained by contrast-enhanced computed tomography (CT) or magnetic resonance imaging (MRI). A software is required to obtain the 3D-printed model from the digital images. Several software programs have been developed for 3D printing, as the PLUTO software from the Nagoya University (Japan)<sup>1</sup>, which is specific for the anatomic structure of the liver.

The printed model provides information on the vascular and biliary structures, tumor arrangement, the area to be resected and the relationships between them, giving more accurate orientation on the anatomic landmarks for the surgical procedure.

Besides facilitating preoperative surgical planning, the model can be sterilized and transported to the operating room, thus improving the interpretation of the spatial relationship between the anatomic structures<sup>2</sup>.

The aim of this study is to report the initial experience with the use of 3D-printed models in 2 cases of liver surgery.

**3D reconstruction:** 3D reconstruction of CT images was performed using DICOM Osirix MD<sup>®</sup> software program for image visualization and segmentation, and a contrast scan was performed to differentiate the structures of interest. The elements considered for surgical planning were the portal vein, hepatic veins, common hepatic artery and its branches, biliary ducts, tumor location and size, and the relationship between all these structures.

**3D printing:** different technologies were used for the 3D-printed model, depending on the surgical case and focused on the main point of interest or difficulty posed by the surgeon.

In the first case, a BCN3D Sigmax fused deposition model (FDM) printer (Spain) was used to construct a dual color model in 1:1 true scale. The liver parenchyma was printed in white and the structures of interest in a different color (Fig. 1 A).

In the second case, a FORM 2 (FormLabs, USA) printer with stereolithography technology was used

to create a 3D-printed model with 80% of the liver full size; the structures were differentiated using different colors (Fig. 1 B).

The material used in the models is called PLA, a thermoformable plastic that can be melted and recycled to obtain repeated models, which is beneficial for the care of the environment.

**Use of the model:** before the intervention, the surgical team examined the model, considering the main difficulties and the surgical approach they would use. In addition, the 3D-printed model was taken to the operating room during the intervention to provide the surgeon, who performed both interventions, with a better spatial representation of the structures. In both cases, intraoperative liver ultrasound was performed as an additional test to identify the vascular structures.

**Case 1:** The first case was a 35-year-old female patient with a history of inherited thrombocytopenia. She had undergone surgery for rectal adenocarcinoma with resection of the sigmoid colon and rectum followed by adjuvant chemotherapy. During follow-up, a CT scan identified a large liver metastasis in the right liver lobe and a small metastasis in segment III with stable disease. Therapy with irinotecan was indicated, with poor tolerance; the case was then evaluated by the Tumor Board where surgical treatment was decided. Right hepatectomy and limited resection of segment

III was performed, achieving R0 resection (Fig. 2 A).

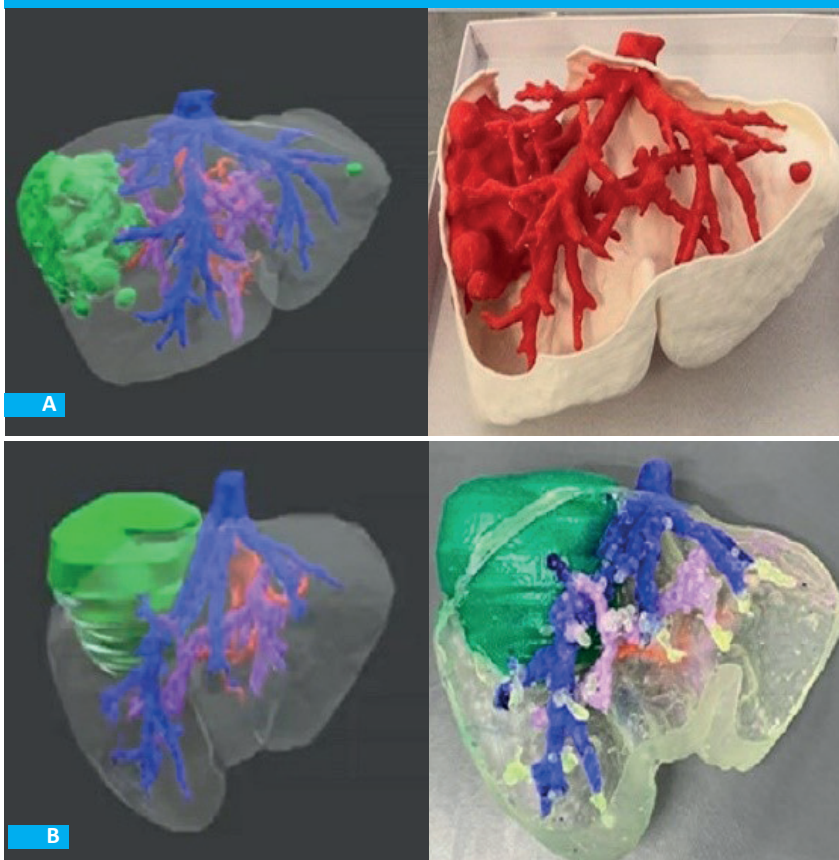
The patient did not require intraoperative or postoperative transfusions of blood products and had favorable outcome. The CT scan and biomarkers were normal 6 months after surgery.

**Case 2:** The second case was a 60-year-old man with a history of hepatitis C, who complaint of long-lasting mild pain in the right hypochondriac region. The CT scan showed a mass in liver segments VI and VII. The laboratory tests showed increased alpha-fetoprotein levels, and, before performing endoscopic and imaging tests, a diagnosis of hepatocellular carcinoma was suspected. The patient was classified as Child class A, and surgical treatment was decided. Based on the 3D-printed model, resection of VI-VII segments was performed without requiring the use of blood products during surgery or in the postoperative period. The pathology report confirmed R0 resection (Fig. 2 B).

An Enhance Recovery After Surgery (ERAS) protocol was initiated and the patient was discharged without complications on postoperative day 3. At 9 months, alpha-fetoprotein levels and CT scan were normal, and the is currently developing his usual working activities.

The implementation of 3D printing technology was very useful, as it facilitated the understanding of the spatial relationships among the anatomic structures

■ FIGURE 1



A: Simulation and 3D-printed model. Case 1

B: Case 2. Reconstruction and 3D-printed model.

■ FIGURE 2



A: Computed tomography scan of the abdomen showing liver metastasis and surgical specimen  
 B: Transection with indemnity of the right hepatic vein. Surgical specimen

in both cases. Understanding this spatial relationship allowed to effectively and safely solve situations that could not be predicted before. Igami et al. used 3D-printed models with intraoperative ultrasound in right minor hepatectomies with liver partition between the right anterior and posterior sectors and concluded that the procedure was easy and suitable<sup>1</sup>. We also associated both methods in our cases, bearing in mind that they are non-mutually exclusive, as the sum of both methods helps in the decision-making process. These authors also applied this technology to liver surgery in two patients with liver metastases from colorectal cancer who underwent chemotherapy before surgery. The size of the metastases reduced so much that were not visible by preoperative and intraoperative ultrasonography. Based on the data provided by the 3D-printed model, resection was successful, with histologically negative surgical margins, demonstrating the feasibility of the procedure<sup>2</sup>.

This technology has been implemented in the field of liver transplantation. Nizer et al. used 3D-printed models in three pairs of patients for living donor liver transplantation, emphasizing it is a valuable tool for understanding the spatial relationships between vascular and biliary anatomic structures, facilitating surgery, and minimizing intraoperative complications<sup>3</sup>. Laparoscopic liver surgery is another field of implementation, as this approach has experienced significant development and expansion over the past decade. The implementation of 3D-printing on decision-making in the context of laparoscopic liver resections

has been reported by Witowski et al., among others, who concluded that these models are helpful for planning the extent of complex and major laparoscopic liver resections and for detecting candidates who may suffer from post-hepatectomy liver failure<sup>4</sup>.

The development of this tool is based on biomedical images acquired mainly by CT scan, although MRI is also useful.

Despite the benefits demonstrated, there are some concerns, as the accuracy of 3D-printed models in relation with the actual anatomic structure, costs (which are generally high) and the time required to create and obtain the model. The environmental impact generated by the material used to make these models should be mentioned; however, in our case, 3D-printed models can be ground, melted and recycled to build new models, thus making the material environmentally friendly. In 2018, Witowski et al. evaluated the accuracy of 3D printed liver models developed by a cost-effective approach. They compared the tomographic images of the liver of 15 patients with the tomographic images of the 3D-printed models obtained from the initial CT scan and demonstrated the accuracy and similarity of the models developed by a cost-effective approach<sup>5</sup>. Other investigators have developed models that can be rapidly constructed with reduced costs and which can relate the vascular and biliary structures with the liver surfaces, facilitating a more accurate definition of the anatomic landmarks<sup>6</sup>.

In a review of 14 articles, the authors described inexpensive, low-quality 3D-printed models and other

more expensive complex, multimaterial liver models with limited availability, suggesting that low-quality models might be useful for educational purposes for colleagues, patients and their families<sup>7</sup>.

Although we have used the models in only 2 patients, we consider that they were useful for planning and facilitating surgery, since they provided us with a very approximate map of the vascular landmarks that were displaced by the large lesions, which were also corroborated by intraoperative ultrasound. The time taken to obtain the model was about 7 days with a cost of 380 dollars including the digital model and the printed model. Although the time required was rapid, the costs in the current context of our activity must be considered high.

The 3D-printed model had an accurate correlation with the liver structures, allowing for a

reduction in the operative time, accurate identification of the anatomy and a reduction of bleeding events, especially in the case of the patient with inherited thrombocytopenia, which was evident by the absence of intraoperative and postoperative transfusion of blood products.

For the reasons mentioned above, and mainly because of what has been reported in the literature, we believe that the use of 3D-printing in liver surgery could be considered, mainly in complex and selected cases, evaluating its cost-benefit, the understanding it would provide for the preoperative period, surgical approach and accuracy during the intraoperative period, and as an educational tool for patients and colleagues. Finally, we must mention that we did not find national scientific publications on the use of 3D printing in liver surgery.

#### Referencias bibliográficas /References

1. Igami T, Nakamura Y, Oda M, Tanaka H, Nojiri M, Ebata T, et al. Application of three-dimensional print in minor hepatectomy following liver partition between anterior and posterior sectors. *ANZ J Surg.* 2018;88(9):882-5. doi:10.1111/ans.14331
2. Igami T, Nakamura Y, Hirose T, Ebata T, Yokoyama Y, Sugawara G, et al. Application of a Three-dimensional Print of a Liver un Hepatectomy for Small Tumors Invisible by Intraoperative Ultrasonography: Preliminary Experience. *World J Surg.* 2014;38(12):3163-6. doi:10.1007/s00268-014-2740-7
3. Zein Z, Hanouneh I, Bishop P, Samaan M, Eghtesad B, Quintini C, et al. Three-Dimensional Print of a Liver for Preoperative Planning in Living Donor Liver Transplantation. *Liver Transpl.* 2013;19(12):1304-10. doi:10.1002/lt.23729
4. Witowski J, Budzyński A, Grochowska A, Ballard D, Major P, Rubinkiewicz M, et al. Decision- making based on 3D printed models in laparoscopic liver resections with intraoperative ultrasound: a prospective observational study. *Eur Radiol.* 2020;30(3):1306-12. doi:10.1007/s00330-019-06511-2
5. Witowski J, Wake N, Grochowska A, Sun Z, Budzyński A, Major P, et al. Investigating accuracy of 3D printed liver models with computed Tomography. *Quant Imaging Med Surg.* 2019;9(1):43-52. doi:10.21037/qims.2018.09.16
6. Oshiro Y, Mitani J, Okada T, Ohkohchi N. A novel three-dimensional print of liver vessels and tumors in hepatectomy. *Surg Today.* 2017;47(4):521-4. doi:10.1007/s00595-016-1383-8
7. Witowski J, Coles-Black J, Zuzak T, Pedziwiatr M, Chien J, Major P, et al. 3D Printing in Liver Surgery: A Systematic Review. *Telemed J E Health.* 2017;23(12):943-7. doi:10.1089/tmj.2017.0049