



Ecografía hepatobiliar intraoperatoria - Aprendiendo a ver más allá

Pedro Antonio Martin Mojica

Cirujano de Trasplantes, Hospital Alma Máter de Antioquia

María Laura Londoño

Residente de Cirugía General, Universidad de Antioquia

Objetivos del capítulo

- Describir las principales indicaciones y aplicaciones clínicas de la ecografía hepatobiliar intraoperatoria
- Presentar de forma clara para el cirujano general las ventajas en el uso de esta tecnología y las tecnologías emergentes

Introducción

La ecografía se ha consolidado como una herramienta fundamental en la cirugía moderna, desde el ámbito de la cirugía general, pasando por la cirugía hepatobiliopancreática, hasta los escenarios más complejos de la cirugía de trasplantes, al permitir al cirujano una evaluación anatómica en tiempo real que supera las limitaciones de la inspección y la palpación convencionales. Su importancia resulta especialmente evidente en el hígado, un órgano de gran complejidad anatómica, cuya organización vascular y biliar presenta una variabilidad significativa. En este contexto, la ecografía intraoperatoria se convierte en un recurso clave para la identificación precisa de estructuras, la planificación quirúrgica y la toma de decisiones seguras durante el acto operatorio.

Recuento histórico del ultrasonido y su impacto en la ecografía intraoperatoria hepatobiliar

Luego de varios años de desarrollo experimental, durante la década de 1950 el ultrasonido fue aceptado por las sociedades médicas como un instrumento válido para el diagnóstico en medicina, lo que dio origen a un número creciente de trabajos de investigación en múltiples áreas de aplicación clínica. El primer artículo publicado en una revista científica de alto impacto apareció en *The Lancet* en junio de 1958, donde se describió la experiencia diagnóstica en un grupo de 100 pacientes sanos y con patología abdominal, marcando un punto de inflexión en la historia de la imagenología médica (1).

En esta etapa inicial, los equipos de ultrasonido eran de gran tamaño, ocupan espacios considerables y presentaban importantes limitaciones técnicas. Aún no existía el gel conductor, por lo que los pacientes debían ser sumergidos en estanques con agua, que actuaba como medio conductor, y permanecer inmóviles durante la adquisición de las imágenes.

Los transductores giraban alrededor del cuerpo, permitiendo obtener imágenes rudimentarias de órganos como el riñón

y el hígado, esto sentó las bases de la ecografía abdominal diagnóstica.

El uso del ultrasonido en los procedimientos quirúrgicos se remonta a la década de 1960; sin embargo, su aplicación intraoperatoria con impacto clínico real se consolidó años después.

En 1979, Bernard Sigel introdujo el ultrasonido durante la cirugía para el diagnóstico intraoperatorio de litiasis biliar, sentando las bases del ultrasonido como herramienta diagnóstica en tiempo real. Posteriormente, a inicios de la década de 1980, el grupo de Sigel sistematizó y expandió el uso de la ecografía, extendiendo su aplicación a la cirugía hepatobiliar, pancreática y otras áreas de la cirugía abdominal, e integrándose de manera formal en la toma de decisiones quirúrgicas. En 1982, Fukuda et al. describieron la ecografía laparoscópica para la estadificación del cáncer gastrointestinal, ampliando su utilidad en el contexto de la cirugía mínimamente invasiva (2).

A mediados de la década de 1990, la introducción del Doppler color permitió una caracterización más precisa de la anatomía vascular, la evaluación de la permeabilidad de los vasos y la identificación de compromiso tumoral vascular o ganglionar, fortaleciendo el papel del ultrasonido como una herramienta no solo anatómica, sino también funcional.

Un hito fundamental en la consolidación de la ecografía intraoperatoria aplicada a la cirugía hepática ocurrió en 1993, cuando el dr Masatoshi Makuuchi, reconocido cirujano hepatobiliar japonés, considerado una de las figuras más influyentes en el desarrollo de la cirugía hepática moderna, publicó su artículo icónico sobre la técnica operatoria de la subsegmentectomía hepática guiada por ultrasonido (3).

Este trabajo estableció los fundamentos de la resección hepática anatómica guiada por ecografía intraoperatoria, permitiendo resecciones precisas, preservación máxima de parénquima funcional y una nueva comprensión territorial de la anatomía vascular intrahepática, más allá del esquema clásico de los ocho segmentos de Couinaud.

El uso de la ecografía intraoperatoria ha permitido al cirujano tener en tiempo real en la sala de operaciones gran cantidad de información anatómica y patológica de la lesión en estudio, lo que ha permitido la toma de mejores decisiones en la mesa

de operaciones (4).

Con el advenimiento de técnicas modernas de imagen preoperatoria, como la tomografía computarizada y la resonancia magnética, se postuló que el uso de la ecografía intraoperatoria podría disminuir. No obstante, múltiples estudios han demostrado que la ecografía intraoperatoria continúa aportando información adicional relevante, al permitir la detección de lesiones hepáticas no identificadas en los estudios preoperatorios y generar cambios en la conducta quirúrgica hasta en el 16,5 % de los casos (5), reafirmando su papel como una herramienta indispensable en la cirugía hepatobiliar contemporánea.

Equipos y técnicas

La ecografía intraoperatoria se fundamenta en la propagación de ondas mecánicas de alta frecuencia (ultrasonido) a través de los tejidos, con generación de imágenes a partir de la reflexión de estas ondas según las diferencias de impedancia acústica, determinada principalmente por la densidad de los tejidos. A diferencia del sonido audible (20 - 20.000 Hz), el ultrasonido diagnóstico utiliza frecuencias superiores a 2 MHz, lo que permite una adecuada resolución espacial para la caracterización anatómica intraoperatoria (6,7) (Figura 1).

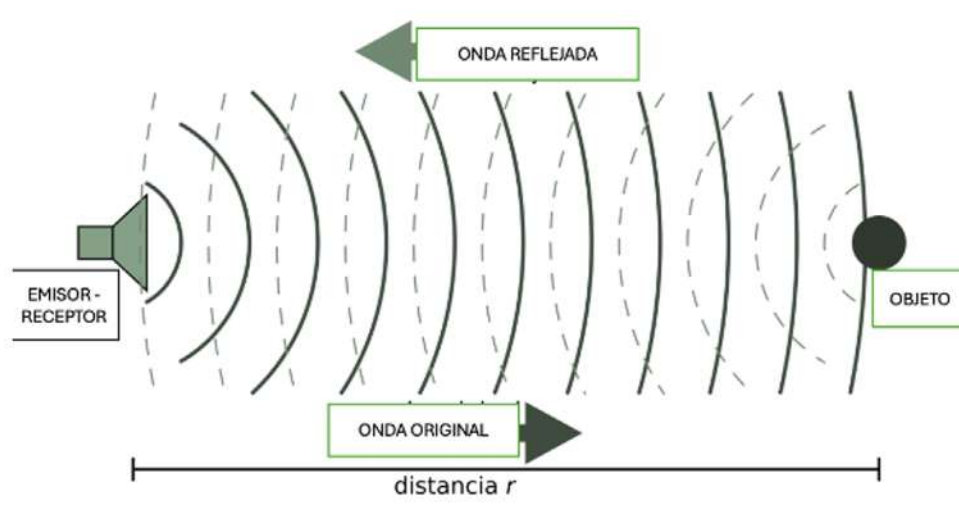


Figura 1: Principios físicos del ultrasonido.

Los transductores utilizados en el intraoperatorio deben ser compactos, ergonómicos y fácilmente manipulables, con sistemas móviles capaces de proporcionar imágenes de alta calidad. Idealmente, deben permitir modalidades avanzadas como Doppler color, Doppler pulsado, fundamentales para la evaluación vascular y biliar. Asimismo, su tamaño debe ser adecuado para acceder a regiones anatómicas complejas, como el domo hepático y el sector posterior.

En cirugía hepatobiliar, intraoperatoriamente se emplean preferentemente transductores de alta frecuencia (7–13 MHz), dado que ofrecen una mayor resolución espacial en comparación con aquellos de baja frecuencia (3–5 MHz), siendo suficientes para profundidades de exploración que rara vez superan los 12 cm. La correcta selección de la frecuencia,

junto con el ajuste adecuado de la ganancia, la profundidad y los parámetros de Doppler, constituye un aspecto esencial de la llamada botonología, que todo cirujano debe dominar para optimizar la calidad de la imagen intraoperatoria (8).

Desde el punto de vista técnico, la exploración ecográfica se basa en el contacto directo del transductor con la superficie del órgano, utilizando solución salina o gel estéril como medio de acoplamiento acústico, y en la realización de un escaneo sistemático mediante movimientos longitudinales y transversales. Esta técnica permite la identificación precisa de estructuras vasculares, biliares y parenquimatosas, así como la localización de lesiones ocultas o no evidentes a la inspección directa, integrando la ecografía como una verdadera extensión de la exploración quirúrgica (9,10) (Figura 2).



Figura 2: Ecógrafo y transductores utilizados en la práctica clínica.
Se muestran transductores lineal, convexo y sectorial. Fotografía original tomada por los autores.

Aplicaciones en cirugía hepatobiliar

El primer paso en cirugía hepatobiliopancreática, resulta de una revisión exhaustiva de la tomografía y/o resonancia magnética, para tener un claro esquema mental tridimensional de lo que vamos a buscar y las posibles variantes anatómicas a considerar.

Para la exploración hepática, se debe empezar con ubicar la vena cava y ligamentos hepáticos incluyendo el redondo, y el ligamento venoso; una vez realizado esté paso se debe seccionar el ligamento redondo y falciforme para permitir el espacio necesario para la manipulación del transductor. Se

debe realizar un barrido sistemático, secuencial y continuo del parénquima hepático, siguiendo un patrón bidireccional de superior a inferior y de inferior a superior, se recomienda empezar con el traductor en posición transversal comenzando hacia el margen más medial del segmento II y extendiéndose al lado derecho. De esta forma se puede escanear toda la superficie, las porciones más difíciles son los segmentos del sector posterior y las descritas como áreas ciegas del hígado como el área desnuda del hígado. En este orden deben incluirse los vasos portales y las venas hepáticas como primera medida y por último la arteria hepática y la vía biliar (11) (Figura 3).

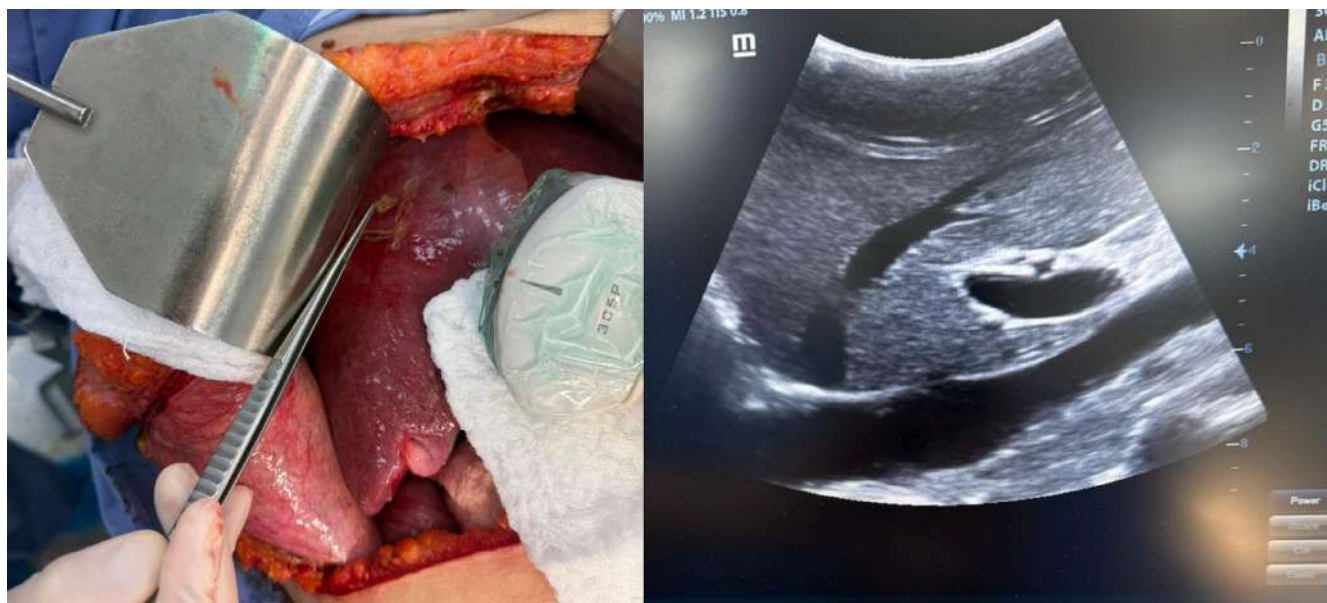


Figura 3. Ecografía intraoperatoria del hígado. Marcación trayecto vena hepática media.
Imagen original obtenida por los autores.

Hepatectomías guiadas por ultrasonido

La ventaja del ultrasonido radica en la posibilidad de evaluar las lesiones ya sean metastásicas o primarias y su relación con las estructuras bilio-vasculares hepáticas para permitir resecciones radicales pero sin afectación de dichas estructuras, así como la toma de decisiones en el

intraoperatorio o incluso el diagnóstico de nuevas lesiones, que pueden cambiar el plan quirúrgico inicial, se han descrito por ejemplo que en los casos de metástasis hepáticas por cáncer colorrectal, el ultrasonido intraoperatorio ha permitido obtener nueva información que influye en la cirugía hasta en el 50 % de los casos (12) (Figura 4).

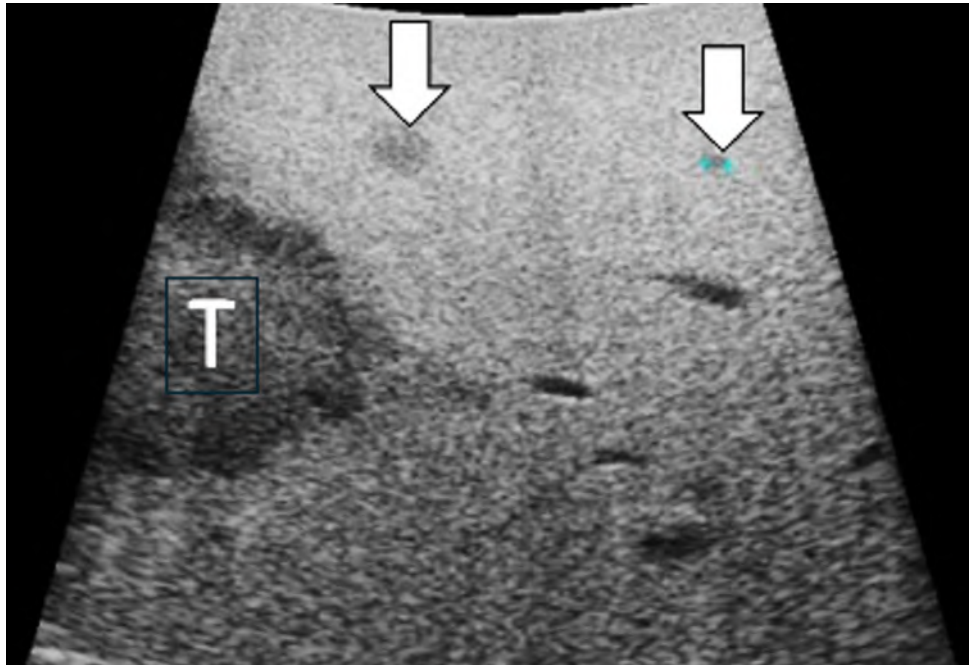


Figura 4. Múltiples metástasis hepáticas de origen colorrectal. El estudio preoperatorio identificó una lesión de 3 cm. La ecografía intraoperatoria reveló lesiones adicionales ocultas de 5 mm y 2 mm (flechas). *Modificada de J. Machi et al / Surg Clin N Am 84 (2004) 1085–1111.*

Otra ventaja única es la posibilidad de una menor movilidad posoperatoria al minimizar el riesgo de sangrado o la necrosis por la desvascularización del tejido remanente. La técnica para lograr estas resecciones implica la identificación ecográfica del pedículo vascular del segmento hepático objetivo, su posterior pinzamiento y la delimitación de la isquemia en el parénquima que permitirá la resección. (13). Lo anterior también permite la preservación de parénquima hepático funcional.

Alternativas a la resección hepática

A pesar de que la resección hepática es el manejo óptimo para los pacientes con hepatocarcinoma, algunos pacientes no son candidatos a resección, sin embargo, existen alternativas como la ablación por radiofrecuencia que puede ser asistida de manera laparoscópica y por medio de ultrasonido intraoperatorio se puede guiar la colocación de la aguja de microondas en las lesiones objetivo. Algunos escenarios en los que es ideal es en los pacientes cirróticos con coagulopatía en los que la opción percutánea puede

ser riesgosa o en casos en los que la misma intervención se realizará simultáneamente la resección del tumor primario (14).

Aplicaciones del Doppler a la cirugía hepática

El Doppler constituye una extensión funcional de la ecografía intraoperatoria, al permitir la evaluación dinámica de la perfusión y la permeabilidad vascular en escenarios decisivos de la cirugía hepatobiliar. En el contexto oncológico, su utilidad incluye la caracterización de trombos asociados a lesiones tumorales que pueden modificar la estadificación y la resecabilidad. Asimismo, durante la exploración sistemática del hígado, es prioritario descartar trombosis o estenosis en territorios críticos (vena porta principal, confluencias venosas hepáticas y región de drenaje venoso), dado su impacto directo sobre la estrategia quirúrgica y el riesgo de complicaciones (15).

En trasplante hepático, el Doppler tiene un rol preoperatorio y

Ecografía hepatobiliar intraoperatoria - Aprendiendo a ver más allá

perioperatorio particularmente relevante. Preoperatoriamente, se recomienda documentar de manera dirigida la permeabilidad del eje porto-mesentérico y caracterizar la trombosis portal, ya que puede presentarse como hallazgo incidental intraoperatorio y modificar el plan quirúrgico (trombectomía, shunt mesoportal, renoportal entre otras). Anticipar este escenario mediante ecografía Doppler antes de la laparotomía permite planificar reconstrucciones vasculares y preparar injertos si fueran necesarios. De forma complementaria, la evaluación preoperatoria de la vena cava inferior (VCI) (Figura 5) y del drenaje venoso contribuye a estimar el flujo de salida hepático y a orientar la vigilancia hemodinámica y ecográfica durante la reperusión (16).

En el período intraoperatorio y posreconstrucción, el Doppler permite confirmar en tiempo real la permeabilidad de

anastomosis vasculares y detectar alteraciones tempranas (trombosis, estenosis, flujo reducido o inversión de flujo), además de cuantificar parámetros velocimétricos en la vena porta, arteria hepática y venas hepáticas/VCI. Esta lógica se extiende a otras cirugías abdominales complejas con reconstrucción venosa, como la cirugía pancreática oncológica con resección y reconstrucción portal/mesentérica, donde el Doppler se utiliza para verificar permeabilidad y monitorizar el lecho porto mesentérico en el postoperatorio temprano (Figura 6).

En el quirófano, así como en escenarios de urgencia y cuidado intensivo, la ecografía Doppler/ultrasonido de la VCI puede contribuir a la estimación del estado de volemia y respuesta a fluidos en determinados pacientes, integrándose como complemento de la monitorización anestésica (17).

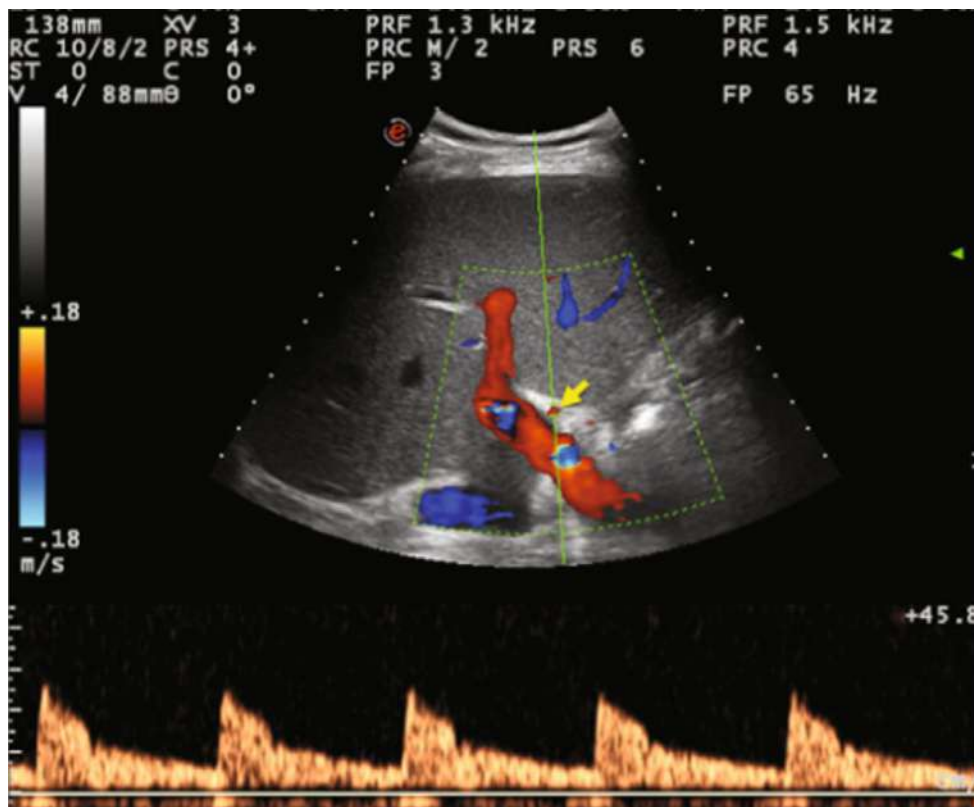


Figura 5. Doppler normal, en paciente trasplantado hepático, de la arteria hepática derecha en su punto de entrada al lóbulo hepático derecho, con ascenso sistólico rápido, pico sistólico adecuado, índice de resistencia dentro de rangos normales y velocidad diastólica baja en relación con la velocidad pico sistólica. Imagen adaptada de *Ultrasound-Guided Liver Surgery: An Atlas* (Torzilli, ed., Springer, 2014).



Figura 6. Anastomosis término-terminal de la vena porta tras trasplante hepático, abordaje intercostal en el postoperatorio. En escala de grises se observa como indentaciones a lo largo del tronco portal principal, sin alteraciones del flujo en Doppler color. Imagen adaptada de *Ultrasound-Guided Liver Surgery: An Atlas* (Torzilli, ed., Springer, 2014).

Aplicaciones en cirugía pancreática

En la cirugía pancreática, la ecografía intraoperatoria permite la visualización detallada de estructuras clave como el conducto pancreático principal (conducto de Wirsung), las arcadas vasculares peripancreáticas y su relación con el eje venoso mesentérico-portal. Esta capacidad resulta fundamental para la toma de decisiones intraoperatorias, particularmente en la evaluación de la resecabilidad de los tumores periampulares, al facilitar la detección de invasión tumoral vascular.

También desempeña un papel relevante en la detección de metástasis hepáticas ocultas no evidenciadas en los estudios preoperatorios, lo que permite una estadificación más precisa y evita resecciones no terapéuticas. En el caso de los tumores neuroendocrinos del páncreas, la ecografía intraoperatoria es especialmente útil para la localización exacta de lesiones pequeñas o multifocales, optimizando la planificación quirúrgica y guiando resecciones parenquimatosas dirigidas.

En el contexto de la pancreatitis crónica, particularmente

en las operaciones de derivación, la anastomosis pancreaticoyeyunal es el procedimiento de elección cuando el síntoma predominante es el dolor y existe dilatación del conducto de Wirsung. En este escenario, la ecografía intraoperatoria se utiliza como apoyo esencial para localizar con precisión el conducto pancreático principal, identificar la presencia de cálculos intraductales y guiar su apertura. Tras la extracción de los cálculos y la descompresión ductal, el estudio ecográfico puede repetirse para confirmar la completa desobstrucción del sistema ductal y la adecuada resolución del procedimiento.

La ecografía intraoperatoria pancreática ofrece amplias aplicaciones que incrementan la seguridad quirúrgica, mejoran la toma de decisiones en tiempo real y optimizan los resultados oncológicos y funcionales de los procedimientos pancreáticos (18,19, 20).

Perspectivas futuras

En los últimos años, la cirugía hepatobiliar ha experimentado

una evolución significativa impulsada por el desarrollo de tecnologías de navegación quirúrgica basadas en la fusión de imágenes. Estos sistemas integran estudios preoperatorios de alta resolución, como la tomografía computarizada y la resonancia magnética, con ecografía intraoperatoria en tiempo real, permitiendo una correlación espacial dinámica entre la anatomía virtual y el campo quirúrgico real. Esta modalidad, conocida como fusion imaging o real-time virtual sonography, facilita una planificación quirúrgica más precisa y una toma de decisiones intraoperatorias informada, especialmente en escenarios anatómicos complejos (21, 22).

En cirugía hepática, la fusión de imágenes ha demostrado ser particularmente útil para la localización exacta de lesiones profundas o subcentimétricas, la identificación de relaciones vasculares críticas y la navegación durante resecciones anatómicas y no anatómicas. Asimismo, permite anticipar trayectorias de transección parenquimatosa, evaluar márgenes oncológicos en tiempo real y reducir la dependencia exclusiva de la memoria espacial del cirujano basada en imágenes preoperatorias estáticas. En centros de alto volumen, estas tecnologías se han integrado de forma rutinaria en cirugía abierta, laparoscópica y robótica, consolidándose como una extensión natural de la ecografía intraoperatoria convencional (23).

A nivel internacional, plataformas avanzadas de planificación tridimensional y navegación quirúrgica ya forman parte del estándar tecnológico en múltiples centros de referencia en cirugía hepatobiliar y trasplante hepático. Sin embargo, en países como Colombia, la implementación de estas herramientas aún se encuentra en una fase temprana, limitada por factores como la disponibilidad tecnológica, los costos asociados y la necesidad de equipos multidisciplinarios entrenados.

La adopción progresiva de sistemas de fusión de imágenes representa un reto y una oportunidad para mejorar la precisión quirúrgica, optimizar los resultados oncológicos y funcionales, y alinear la práctica nacional con los estándares internacionales de cirugía guiada por imagen.

Otra rama en desarrollo es la cirugía guiada por imagenología de fluorescencia que permite la identificación de hepatocarcinomas, colangiocarcinomas y metástasis hepáticas colorrectales. Otra aplicación es la realización de colangiografía de fluorescencia que permiten la identificación

de la vía biliar para la realización de una colecistectomía segura (24).

En cuanto a la inteligencia artificial, la utilización de programas como Radiomics basados en el “deep learning” buscan por medio de datos imagenológicos generar una predicción y análisis individualizado de cada caso clínico para permitir la toma de mejores decisiones terapéuticas (25).

Limitaciones

- La caracterización de las lesiones superficiales suele ser difícil, sobre todo en superficies irregulares. Pero la utilización de diferentes formas y tamaños de transductores permite una mayor adaptabilidad a las superficies.
- Es operador dependiente, se ha descrito una curva de aprendizaje de 40 procedimientos para el páncreas y 50 para el hígado.

Mensajes indispensables

- En la actualidad la ecografía se posiciona como un elemento base en la práctica clínica y quirúrgica que permite ampliar la visión del cirujano y tomar decisiones intraoperatorias con más sustento anatomopatológico.
- La ecografía es un valioso recurso para aumentar la seguridad de los procedimientos quirúrgicos en cirugía hepatobiliar.

Bibliografía

1. Donald I, MacVicar J, Brown TG. Investigation of abdominal masses by pulsed ultrasound. *Lancet*. 1958;1(7032):1188-1195. doi:10.1016/S0140-6736(58)91905-6.
2. Machi J, Oishi AJ, Furumoto NL, Oishi RH. Intraoperative ultrasound. *Surg Clin North Am*. 2004;84(4):1085-1111. doi:10.1016/j.suc.2004.04.001.
3. Makuuchi M, Hasegawa H, Yamazaki S. Ultrasonically guided subsegmentectomy. *Surg Gynecol Obstet*. 1985;161(4):346-350.
4. Wu M, Bao S, Yang S. The evolution of anatomical hepatectomy: past, present, and future. *iLiver [Internet]*. 2022;1(3):199-204. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.iliver.2022.09.003>

5. Yahya IA. Use of intraoperative ultrasound (IOUS) in liver surgery. En: *Surgical challenges in the management of liver disease*. London: IntechOpen; 2019.
6. Machi J, Sigel B, editores. *Ultrasound for surgeons*. New York: Igaku-Shoin; 1997.
7. Aldrich JE. Basic physics of ultrasound imaging. *Crit Care Med*. 2007;35(5 Suppl):S131-S137. doi:10.1097/01.CCM.0000260624.99430.22.
8. Schwarz L, Vibert E, Sa Cunha A. Intraoperative ultrasonography of the liver. *J Visc Surg*. 2015;152(4):245-250.
9. D'Hondt M, Vandenbroucke-Menu F, Préville-Ratelle S, Turcotte S, Chagnon M, Plasse M, et al. Is intraoperative ultrasound still useful for the detection of hepatic tumours in the era of modern preoperative imaging? *HPB (Oxford)* [Internet]. 2011;13(9):665-669. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1477-2574.2011.00349.x>
10. Kruskal JB, Kane RA. Intraoperative US of the liver: techniques and clinical applications. *Radiographics* [Internet]. 2006;26(4):1067-1084. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1148/rg.264055120>
11. Bartoş A, Iancu I, Ciobanu L, Badea R, Spârchez Z, Bartoş DM. Intraoperative ultrasound in liver and pancreatic surgery. *Med Ultrason* [Internet]. 2021;23(3):319-328. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.11152/mu-2853>
12. Torzilli G, Procopio F. State of the art of intraoperative ultrasound in liver surgery: current use for resection guidance. *Chirurgia (Bucur)*. 2017;112(3):320-325. doi:10.21614/chirurgia.112.3.320.
13. Sietjes C, Meijerink MR, Meijer S, van den Tol MP. The impact of intraoperative ultrasonography on the surgical treatment of patients with colorectal liver metastases. *Surg Endosc*. 2010;24(8):1917-1922. doi:10.1007/s00464-009-0874-8.
14. Zhang X, Huang Z, Lu H, Yang X, Cao L, Wen Z, et al. Identification of the resection plane for anatomical liver resection using ultrasonography-guided needle insertion. *Front Surg* [Internet]. 2022;9:1035315. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3389/fsurg.2022.1035315>
15. Mogahed M, Zytoon AA, Abdel Haleem A, Imam E, Ghanem N, Abdellatif WM. The value of intraoperative ultrasonography on safety margin and outcome during liver resection and radiofrequency ablation in hepatocellular carcinoma patients. *Egypt J Radiol Nucl Med* [Internet]. 2021;52(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/s43055-021-00567-1>
16. Sancio JB, Ponte RV, Beduschi T, Soma D. Portal vein thrombosis: management and approaches in liver transplantation. *J Clin Med*. 2025;14(17):6100. doi:10.3390/jcm14176100.
17. Kaydu A, Gokcek E. Preoperative and postoperative assessment of ultrasonographic measurement of inferior vena cava: a prospective observational study. *J Clin Med*. 2018;7(6):145. doi:10.3390/jcm7060145.
18. Kamiyama T, Kakisaka T, Orimo T. Current role of intraoperative ultrasonography in hepatectomy. *Surg Today* [Internet]. 2021;51(12):1887-1896. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00595-020-02219-9>
19. Camelo Pardo G, Tarazona León CE, Rengifo Quintero LJ. Puestow surgery: an option in chronic pancreatitis. *Rev Cir*. 2023;75(4):227-228.
20. De Santibañes E, Mazza O, Villegas L, Sánchez Clariá R, Sívori J, Ciardullo M, et al. Ecografía intraoperatoria del páncreas. *Rev Argent Cir*. 2005;88(1-2):48-54.
21. Chu KJ, Kawaguchi Y, Hasegawa K. Current use of intraoperative ultrasound in modern liver surgery. *Oncol Transl Med* [Internet]. 2023;9(4):168-175. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1097/ot9.000000000000005>
22. Ang LV, Li Y, Qian HG, Qiu H, Hao CY. Precise navigation of the surgical plane with intraoperative real-time virtual sonography and 3D simulation in liver resection. *J Gastrointest Surg*. 2018;22(10):1814-1818.

23. Chien CPY, Lee KH, Lau V. Real-time ultrasound fusion imaging-guided interventions: a review. Hong Kong J Radiol. 2021;24:116-124.

24. Fang C, Zhang P, Qi X. Digital and intelligent liver surgery in the new era: prospects and dilemmas. EBioMedicine [Internet]. 2019;41:693-701. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ebiom.2019.02.017>