

Desarrollo de un modelo de colon para formación en cirugía laparoscópica a partir de técnicas de procesado semiautomático de imagen médica e impresión 3D

Carlos Lobato Gómez, Èlia Pedregosa, Juan A. Sánchez-Margallo*, David. Patrocinio Caballero, Francisco M. Sánchez-Margallo

Centro de Cirugía de Mínima Invasión Jesús Usón, Cáceres, España,
{clobato, epedregosa, jasanchez, dpatrocinio, msanchez}@ccmijesususon.com

*Corresponding author

Resumen

El aprendizaje de técnicas laparoscópicas necesita de simuladores más realistas para favorecer la adquisición de habilidades quirúrgicas y completar los programas de aprendizaje tradicionales. Los simuladores quirúrgicos actuales son útiles para los cirujanos noveles, pero tienen un uso limitado en técnicas quirúrgicas más complejas. La finalidad de este estudio es mejorar las técnicas de elaboración de simuladores para cirugía laparoscópica que permitan obtener resultados más realistas y que estos puedan contribuir a la mejora del aprendizaje de los profesionales sanitarios. En concreto, en este trabajo se presenta la metodología para la creación de simuladores quirúrgicos colorrectales. Partiremos de un método para la segmentación semi-automática del colon, a partir de un estudio DICOM, y que permita obtener modelos de colon de una manera más eficiente, para pasar a detallar la metodología para la elaboración del simulador de colon correspondiente mediante el uso de diversas técnicas de modelado e impresión 3D.

1. Introducción.

La cirugía laparoscópica es una disciplina quirúrgica técnicamente muy demandante para el cirujano, la cual requiere de un amplio periodo de formación hasta alcanzar las competencias quirúrgicas necesarias para su aplicación en la práctica clínica real [1]. Es por ello los continuos esfuerzos por desarrollar nuevas herramientas y modelos de formación que permitan reducir el uso de animales de experimentación y cadáveres y que faciliten la práctica quirúrgica para favorecer la adquisición de habilidades psicomotoras laparoscópicas previo a la práctica quirúrgica real, como es en el uso de simuladores de formación (box trainers).

El cáncer colorrectal (CCR) es la tercera neoplasia maligna más comúnmente diagnosticada en el mundo y la cuarta causa principal de muerte por cáncer [2]. En España supone más de 15.000 fallecimientos anuales (Sociedad Española de Oncología Médica -SEOM-). Aproximadamente el 80% de los casos recién diagnosticados de cáncer de colon requieren cirugía. La cirugía sigue siendo el tratamiento de elección para la mayoría de los casos de CCR, tanto como tratamiento con intención curativa como terapia paliativa [3]. En el caso de la cirugía mínimamente invasiva con abordaje laparoscópico, esta cirugía se lleva a cabo por medio de incisiones en la pared abdominal a través de las cuales se insertan los trocares para poder manejar los

instrumentos quirúrgicos y la óptica laparoscópica. Los estudios confirman cada vez más que las resecciones laparoscópicas son seguras, oncológicamente equivalentes a la cirugía abierta y tienen mejores resultados a corto plazo [4]. Sin embargo, esta técnica es técnicamente muy compleja y presenta una curva de aprendizaje pronunciada. En la actualidad, existen escasos modelos artificiales realistas para la práctica laparoscópica de cirugía del colon, que faciliten el entrenamiento de los profesionales sanitarios en estas técnicas quirúrgicas previo a su aplicación a la práctica clínica real [5].

En este trabajo presentamos los primeros pasos para la aplicación de diferentes métodos para el diseño y desarrollo de un modelo de colon realista basado en técnicas de análisis de imagen médica combinadas con técnicas actuales de impresión 3D y el uso de nuevos materiales.

2. Materiales y métodos.

Para el desarrollo del modelo de colon para su uso en formación en cirugía laparoscópica, se ha seguido el siguiente flujo de trabajo: (1) Obtención del estudio DICOM; (2) Segmentación del modelo; (3) Edición y preparación del modelo; y (4) Técnicas de modelado e impresión 3D

2.1. Segmentación del modelo.

La segmentación de imágenes médicas es un proceso fundamentalmente manual que requiere de un trabajo meticuloso y de larga duración. Para mejorar la eficiencia del proceso de modelado se ha desarrollado una herramienta de segmentación semi-automática centrada en la estructura anatómica del colon. Para ello, se ha utilizado el software 3DSlicer (www.slicer.org), un programa de código abierto para la visualización y procesamiento de imágenes médicas. Este software permite incorporar herramientas de elaboración propias a través de módulos programables en Python. El método de segmentación presentado se ha desarrollado siguiendo la línea de estudios anteriores [6], en los cuales se han utilizado diversos algoritmos de procesado de imagen para obtener un modelo 3D del colon a partir de estudios de Tomografía Axial Computerizada (TAC) del paciente. Este estudio materializa distintas técnicas presentadas en el estado del arte en una herramienta de software libre a mediada para su aplicación en cirugía colorrectal, la cual podrá

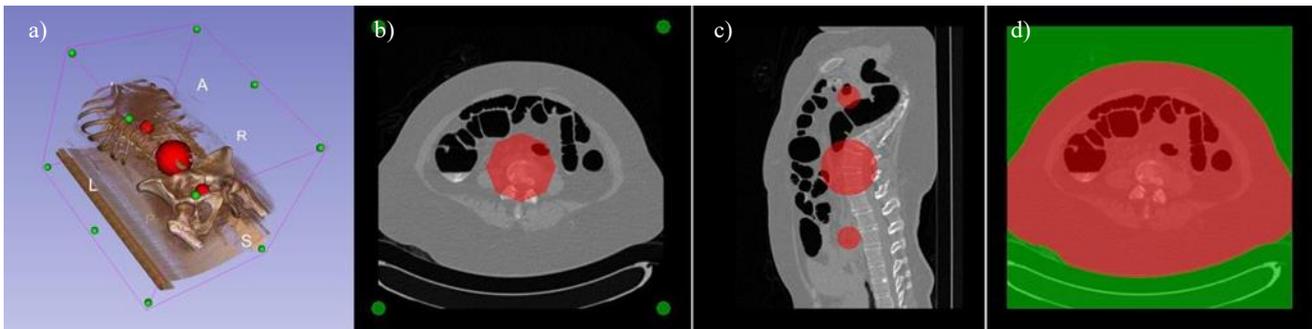


Figura 1. a) Se muestra una vista en 3D del TAC del paciente, donde las semillas verdes se sitúan en los bordes de la matriz y las semillas rojas se sitúan dentro del cuerpo del paciente. b) Vista axial del TAC con las semillas. c) Vista sagital del TAC del paciente. d) Se muestra en vista axial el TAC del paciente con el procesado del algoritmo de Crecimiento de regiones.

descargarse de manera gratuita desde el repositorio de 3DSlicer. Para constatar el correcto funcionamiento, se han utilizado 20 modelos de distintos pacientes obtenidos de The Cancer Imaging Archive, una base de datos pública proporcionada por el National Cancer Institute (NCI).

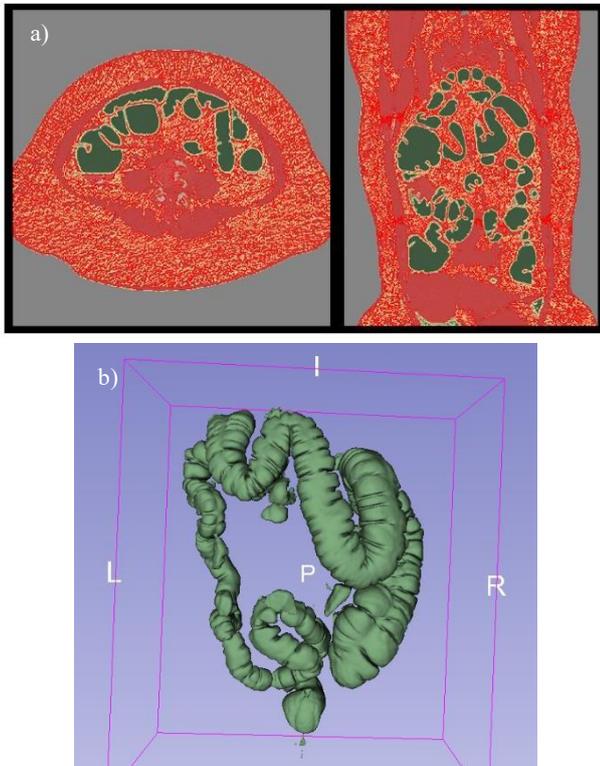


Figura 2. Proceso de segmentación. a) Vistas axial y coronal en las que se muestra (en verde) la segmentación del gas. b) Resultado del modelo 3D del colon segmentado.

La problemática inicial que presenta el procesado del TAC de abdomen, es la fragmentación de la zona anatómica del colon. La presencia de obstrucciones causadas por los movimientos peristálticos o las heces dificulta la segmentación y la distribución del gas a lo largo del mismo no suele ser uniforme. Es, por lo tanto, recomendable que el paciente se someta a un tratamiento, el cual consiste en una dieta blanda para evitar la acumulación de heces y la toma de un contraste yodado, haciendo que cualquier líquido remanente quede radioopaco para facilitar su posterior procesado. Por otro lado, para poder visualizar

correctamente el colon dentro del TAC y mejorar el automatismo de la segmentación, será necesario realizar una insuflación de gas en el colon del paciente durante la adquisición de imágenes. Para ello, se emplea CO₂ ya que ha demostrado ser menos molesto y con menos riesgo para el paciente [7]. Con todo ello, se consigue facilitar el proceso de segmentación del colon.

La presencia de gas dentro del colon permite facilitar la diferenciación de la luz (interior) del colon de sus paredes. Hay que tener en cuenta que el tejido del colon tiene una densidad muy parecida al de los tejidos adyacentes y dificulta el filtrado, por lo que se aplica un umbral a aproximadamente -800 Unidades Hounsfield para descartar los vóxeles con radiodensidades superiores. Otro de los aspectos a tener en cuenta para automatizar este proceso de segmentación es que hay distintas cavidades en el abdomen las cuales contienen gas, a parte del colon, incluyendo el aire exterior al paciente.

Para eliminar el aire exterior se ha empleado un algoritmo tipo Crecimiento de Regiones, donde se colocan semillas en el cuerpo del paciente y en la zona del aire que lo rodea. Mediante este algoritmo de crecimiento las semillas van inundando los vóxeles colindantes cuando comparten similitud hasta encontrarse con las semillas contrarias. En los márgenes de la matriz se colocan doce semillas verdes (Figura 1b). En Figura 1c se puede apreciar el mismo paciente desde la vista sagital, a lo largo del mismo se han colocado tres semillas rojas. En la Figura 1d se puede apreciar cómo las semillas han crecido hasta ocupar todo el volumen disponible. Una vez diferenciados ambos espacios (aire exterior y paciente), se puede excluir el volumen de aire exterior utilizando el segmento creado con las semillas verdes para enmascararlo.

Para eliminar de la segmentación el resto de cavidades que puedan contener gas se ha programado un proceso con interrupciones, donde se le pide al usuario que coloque manualmente las semillas de crecimiento tanto en los pulmones, como en el estómago o en el intestino delgado, en caso de que el CO₂ ha conseguido traspasar más allá del colon.

2.2. Edición y preparación del modelo.

Para poder crear una versión imprimible del modelo, se usa el programa informático Blender, el cual es un software multiplataforma dedicado especialmente al modelado,

renderizado, la animación y la creación de gráficos 3D. Este software se ha utilizado para editar el modelo segmentado del colon obtenido 3D Slicer, el cual ha sido exportado previamente en una extensión editable. Se posprocesó el modelo para poder quitar imperfecciones y terminar de adecuar este para la futura impresión en 3D.

2.3. Técnicas de modelado e impresión.

Una vez terminada la preparación del modelo, el siguiente paso es poner las diferentes técnicas de impresión y modelado a punto. Se ha trabajado paralelamente en dos técnicas diferentes: modelado por deposición fundida (FDM) y técnica de moldes por pincelado. Los resultados obtenidos por cada técnica han sido analizados y comparados para elegir la más adecuada al objetivo del estudio.

La tecnología de FDM permite crear modelos, prototipos y piezas finales en materiales termoplásticos de alto rendimiento. En nuestro caso, esta técnica se ha utilizado para imprimir un molde de la zona anatómica del recto y parte del colon, los cuales han sido obtenidos en paso previos a partir de un estudio de TAC del paciente (Figura 3). Este molde en bloque ha sido impreso en un polímero termoplástico basado en una mezcla de poliestireno y caucho de polibutadieno (HIPS), caracterizado por ser un material duro y resistente a los impactos (Figura 4).



Figura 4. Molde en bloque de colón impreso en HIPS.

El molde en bloque está compuesto por dos partes, la figura del recto y parte del colon, y sus dos negativos. Esta técnica nos permitirá reproducir posteriormente modelos de silicona que tengan detalles en todas sus caras. El conjunto de los dos negativos del modelo crea una caja alrededor, asegurándose de dejar una separación mínima entre ambos objetos para rellenarlo posteriormente de silicona. Es necesario que el modelo se fije a la base de la caja, para que se mueva lo menos posible durante el vertido de la silicona. Para ello, se diseñó una pestaña extra para una mayor fijación entre piezas y varios orificios de salida para la silicona sobrante. Una vez depositada la silicona en el interior del modelo por el orificio de entrada, y esta se haya curado correctamente, la caja fue desmontada para poder separar adecuadamente la silicona del modelo interno.

Respecto a las pruebas con la técnica de moldes por pincelado, su proceso de fabricación tiene similitudes con la técnica anterior, ya que el molde empleado se creó con la misma técnica de impresión (FDM) y material (HIPS)

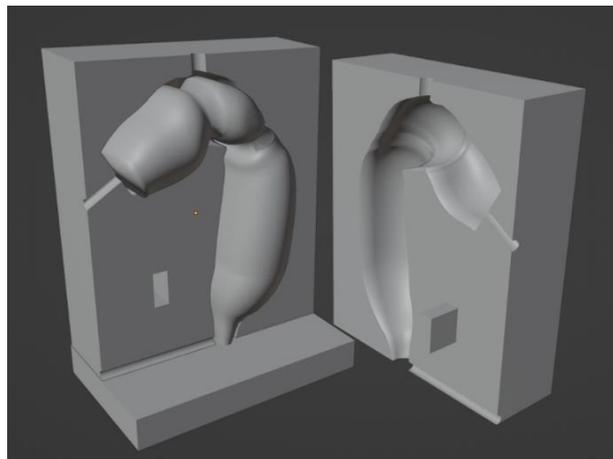


Figura 3. Representación 3D en Blender de las partes del modelo en bloque del colon.

que para el molde en bloque. Una vez obtenido el molde, se recubrió con una fina película de vaselina y se aplicaron capas de silicona a través de pinceladas sobre el modelo hasta alcanzar el grosor esperado.

En ambos experimentos, se usaron las siliconas de la serie Ecoflex 0030 (Figura 5a) y de la serie Roma de Sumbeart (Figura 5b). Para conseguir una textura más realista del modelo, a la serie Ecoflex se le añadió Slacker, un aditivo que provoca un cambio de viscosidad en la textura final del modelo.

Paralelamente a la tecnología FDM, se realizaron también pruebas con la tecnología de impresión en 3D por estereolitografía (SLA). Para llevar a cabo las primeras pruebas, se empleó una pequeña parte del modelo de colon en 3D segmentado. En este caso, el tipo de material empleado ha sido resina Elastic 50 de Formlabs. Esta resina está diseñada para aplicaciones que requieran elongación, resistiendo a ciclos repetidos de deformación sin desgarro. Se trata de un material transparente, por lo que resulta muy adecuado para el desarrollo de modelos médicos para la simulación o formación. Una vez finalizada la impresión con resina, fue necesario hacer un proceso de poscuración para obtener mejores resultados. Para ello, se sumergió la pieza en un baño de isopropanol durante 10 minutos y, finalizado este proceso, se sometió a la pieza a una curación bajo temperatura y luz ultravioleta (Figura 5c).

3. Resultados y discusión.

El método de segmentación semi-automático proporciona unos resultados aceptables. Sin embargo, una vez finalizado el proceso aún quedan pequeños fragmentos no pertenecientes al colon que no consiguen eliminarse, por lo que es necesario un posprocesado manual.

Se ha medido el tiempo de cómputo para 20 modelos distintos, utilizando un procesador 12th Gen Intel(R) Core (TM) i7-12700H 2.30 GHz y 16 Gb de RAM. En la Figura 6 se compara con el tiempo empleado para obtener el mismo resultado segmentando de forma manual.

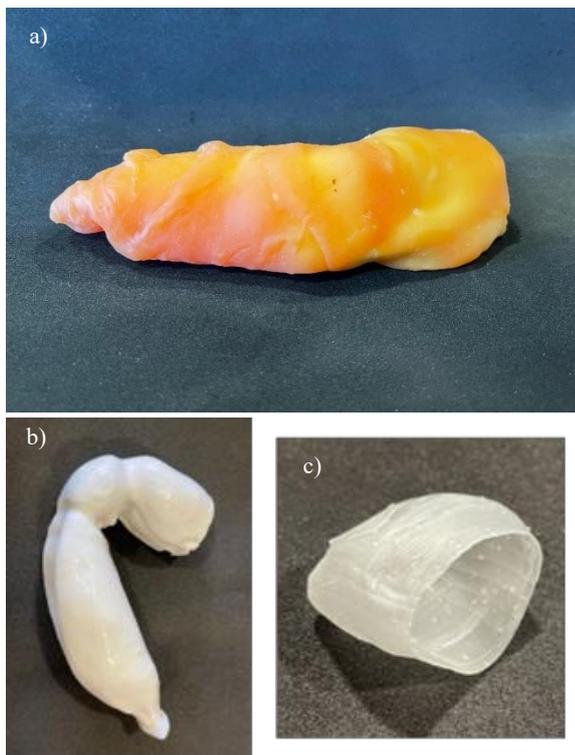


Figura 5. Resultado de los modelos. a) Se muestra el modelo de silicona Ecoflex. b) Resultado de utilizar la silicona Roma. c) Resultado en resina elástica impresa.

Actualmente, el procesado únicamente tiene en cuenta el gas contenido en el colon, por lo que los restos de líquido y material fecal que quedan retenidos no son incluidos, formando imperfecciones en el segmento final. Esto se corregirá como trabajo futuro.

En cuanto al proceso de fabricación realizado con la técnica en bloque, se descarta seguir el estudio con este método, ya que el proceso de diseño es poco eficiente y presenta problemas, dado que la silicona tiende a escaparse por las ranuras. Por otra parte, los resultados obtenidos a partir de la técnica por pincelado han sido mejores. Como se puede observar en la Figura 5a, la forma del modelo de silicona Ecoflex no se ha conseguido tan bien como con la silicona Roma (Figura 5b), pero presenta una textura más realista y que podría semejarse a la de un colon real. Es por eso, que se seguirá con el estudio utilizando la silicona de la serie Ecoflex, aplicando la técnica del *rotocasting* [8] para conseguir un grosor más homogéneo. Los resultados obtenidos a partir de la impresión por SLA, han sido satisfactorios hasta el momento (Figura 5c). Para futuros estudios, se continuará trabajando para obtener un modelo de mayor tamaño del que actualmente se ha logrado.

En este trabajo se ha comprobado la viabilidad de diferentes técnicas para reproducir un simulador quirúrgico laparoscópico. Para ello, se ha diseñado una herramienta de procesado de imagen semi-automática, la cual ha demostrado que permite obtener modelos de colon adaptados al paciente de forma eficiente. Con las diferentes técnicas de modelado utilizadas se han conseguido resultados prometedores, por lo que se seguirá trabajando en estos procedimientos para conseguir recrear un simulador al completo.

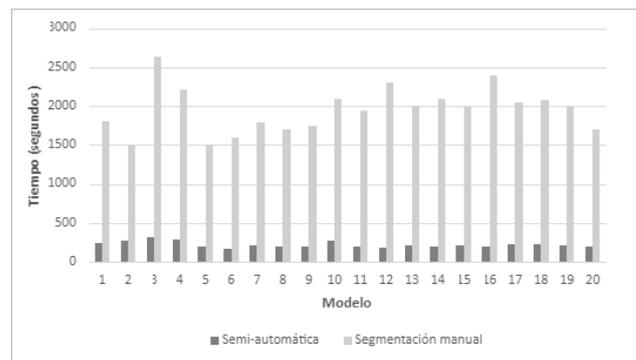


Figura 6. Comparación en segundos del tiempo empleado en la segmentación semi-automática y la segmentación manual.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Junta de Extremadura, el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y el Programa Erasmus+ de la Unión Europea (TA18023, IB20189, 621668-EPP-1-2020-1-ES-EPPKA2-KA).

Referencias

- [1] Sánchez-Margallo FM, Sánchez-Margallo JA, Usón J. Addressing the Challenges of Laparoscopic Surgery. In: Sánchez-Margallo FM, Sánchez-Margallo JA, editors. Recent Advances in Laparoscopic Surgery. IntechOpen; 2019. p. 1–5.
- [2] Arnold M, Sierra MS, Laversanne M, Soerjomataram I, Jemal A, Bray F. Global patterns and trends in colorectal cancer incidence and mortality. *Gut*. 2017 Apr;66(4):683–691.
- [3] George J, Rockall T. Surgery for colorectal cancer. *Surg*. 2020 Jan;38(1):32–7.
- [4] Jayne DG, Thorpe HC, Copeland J, Quirke P, Brown JM, Guillou PJ. Five-year follow-up of the Medical Research Council CLASICC trial of laparoscopically assisted versus open surgery for colorectal cancer. *Br J Surg* 2010; 97: 1638e45.
- [5] Sánchez-Margallo F, Durán-Rey D, González-Portillo M, López-Agudelo I, Sánchez-Margallo JA. Educational models for training in minimally invasive colorectal surgery. *State Soc*. 2021;2021(1):115–40.
- [6] Wyatt, C. L., Ge, Y., & Vining, D. J. (2000). Automatic segmentation of the colon for virtual colonoscopy. *Computerized medical imaging and graphics*, 24(1), 1-9.
- [7] Herráiz, M. (2013). Colonoscopia con insuflación de dióxido de carbono: ¿lujo o necesidad?. *Gastroenterología y Hepatología*, 36(1), 43-47.
- [8] Jaycon Systems. (2017, agosto 1). *All about rotocasting: What you need to know*. Jaycon Systems | Product Design, PCB & Injection Molding.