



Facultad de Veterinaria

Trabajo de
Fin de Grado

Aplicación de las nuevas
tecnologías al estudio de la
Anatomía Veterinaria

Eva Domínguez López

Grado en Veterinaria

Año 2024

Modalidad del Trabajo:
Experimental

RESUMEN

La tecnología de impresión 3D está comenzando a aportar nuevas oportunidades en las prácticas docentes de diversos entornos científicos y educativos y, en esta línea, también resulta muy prometedora en la enseñanza veterinaria. En el contexto de la docencia de la anatomía veterinaria, este estudio explora la construcción y aplicación de modelos anatómicos en 3D (virtuales y físicos) mediante la técnica de escaneo por fotogrametría. Se construyeron modelos 3D por medio de impresión con FDM (Fused Deposition Modelling), lijado y acabado de pintura. Se distribuyó un cuestionario para evaluar la perspectiva de los estudiantes valorando la opinión del alumnado en el uso de este nuevo recurso como apoyo en el aprendizaje de la asignatura.

Palabras clave: impresión 3D, enseñanza, anatomía veterinaria, fotogrametría, modelos 3D, FDM, alumnado.

RESUMO

A tecnoloxía de impresión 3D está a comezar a achegar novas oportunidades nas prácticas docentes de diversas contornas científicas e educativas e, nesta liña, tamén resulta moi prometedora no ensino veterinario. No contexto da docencia da anatomía veterinaria, este estudo explora a construción e aplicación de modelos anatómicos en 3D (virtuais e físicos) mediante a técnica de escaneo por fotogrametría. Construíronse modelos 3D por medio de impresión con FDM (Fused Deposition Modelling), lixado e acabado de pintura. Distribuíuse un cuestionario para avaliar a perspectiva dos estudantes valorando a opinión do alumnado no uso deste novo recurso como apoio na aprendizaxe da materia.

Palabras chave: impresión 3D, ensino, anatomía veterinaria, fotogrametría, modelos 3D, FDM, alumnado.

SUMMARY

3D printing technology is beginning to bring new opportunities for teaching practices in a variety of scientific and educational settings and, in this line, it also holds great promise for veterinary education. In the context of veterinary anatomy teaching, this study explores the construction and application of 3D anatomical models (virtual and physical) using the photogrammetry scanning technique. 3D models were constructed by means of FDM (Fused Deposition Modelling) printing, sanding and paint finishing. A questionnaire was distributed to evaluate the students' perspective by assessing their opinion on the use of this new resource as a support for learning the subject.

Keywords: 3D printing, teaching, veterinary anatomy, photogrammetry, 3D models, FDM, students.

ÍNDICE

1	ABREVIATURAS	6
2	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	7
2.1	Especímenes empleados en anatomía.....	9
2.2	Técnicas de escaneo en 3D.....	10
2.2.1	Adecuación del entorno	11
2.3	Modelos 3D físicos.....	11
2.3.1	Técnicas de impresión en 3D.....	12
3	MATERIAL Y MÉTODOS	16
3.1	Especímenes	16
3.2	Escáner	16
3.3	Impresión 3D, archivos y recuperación.....	17
3.4	Post-procesado	18
3.5	Percepción de utilidad por parte del alumnado	18
4	RESULTADOS	19
4.1	Escaneado de las preparaciones	19
4.2	Modelos en 3D virtuales	19
4.3	Modelos 3D físicos.....	22
4.4	Percepción de utilidad por parte del alumnado	24
5	DISCUSIÓN.....	28
6	CONCLUSIÓN	30
7	BIBLIOGRAFÍA.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Clasificación de las técnicas en función del material de base utilizado, resaltando en amarillo las más utilizadas. Imagen obtenida de Kafle et al., 2021.	12
Figura 2: Captura del programa de capeado (Prusaslicer 2.7.4).	13
Tabla 1: Ventajas e inconvenientes de los principales métodos de impresión 3D. Información obtenida de Kafle et al., (2021)	15
Figura 3: Fotografía de una impresora FDM. A. Panel de control; B. Base; C. Cama caliente; D. Extrusor (controla el flujo de filamento); E. Guía del eje Y; F. Guía del eje X; G. Guía del eje Z; H. Carrete de filamento. La flecha superior señala el filamento (PLA), la flecha inferior señala la cubierta protectora donde se encuentra el hotend (calienta y funde el filamento). Imagen cedida por el Dr. Óscar Varela.....	15
Tabla 2: Tabla con las preguntas que conforman el cuestionario.	19
Figura 4: Capturas de pantalla de diferentes modelos en 3D virtuales. A. Estómago de rumiante; B. Ciego - colon de équido; C. Estómago de suido.....	21
Figura 5: Capturas de modelos 3D virtuales finales mostrando diferentes cortes y perspectivas del corazón de perro.	22
Figura 6: Diferentes perspectivas del modelo final impreso del estómago de rumiante.....	23

1 ABREVIATURAS

2D: dos dimensiones

3D: tres dimensiones

Ppm: partes por millón

TEL: Technology-Enhanced Learning

LADAR: Laser Detection and Ranging

LIDAR: Light Detection and Ranging

FS: solución de formalina

SLA: estereolitografía (Stereolithography)

STL: lenguaje de teselación estándar

(Standard Tessellation Language)

FDM: modelado por deposición fundida (Fused Deposition Modeling)

UV: ultravioleta

PLA: ácido poliláctico

ISO: International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)

ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales)

AM: fabricación aditiva (additive manufacturing)

CAD: diseño asistido por ordenador

2 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La anatomía es un campo de la ciencia en el que se utiliza un vocabulario específico para explicar cómo está organizado un cuerpo y sus estructuras. Este conocimiento requiere de un esfuerzo intelectual significativo, para identificar las diferentes partes y su disposición, así como sus interrelaciones con otras estructuras anatómicas (Pandey & Zimitat, 2007). Es por esto, que en esta disciplina cobra gran importancia la habilidad visual-espacial, que es la capacidad de manipular mentalmente objetos en tres dimensiones (3D) (Vandenberg & Kuse, 1978), en la que los estudiantes no solo necesitan aprender estructuras anatómicas y sus funciones, sino que también las relaciones espaciales de estas con las estructuras circundantes (Berney et al., 2015). El estudio a través de libros y atlas de medicina veterinaria con imágenes en dos dimensiones (2D) puede generar dificultades a la hora de entender de manera dinámica los aspectos de la anatomía funcional (Langlois et al., 2015). Además, diversos estudios (Garg et al., 2001; Lesgold et al., 1988) confirman que las capacidades espaciales de cada alumno son un factor predictivo de éxito en el aprendizaje de la anatomía.

Por otro lado, en la enseñanza de la anatomía actualmente se utilizan especímenes frescos o preservados (Ameko et al., 2012), siendo una de las limitaciones de los especímenes frescos, su rápida descomposición. Para conservarlos durante un periodo largo de tiempo, los especímenes pueden ser tratados mediante métodos tradicionales, como son la momificación o embalsamamiento, o modernos, como la plastinación (Menaka & Chaurasia, 2015; Mohamed & John, 2018). Los especímenes que no son tratados con plastinación y son fijados con formaldehído presentan riesgos potenciales, debido a la toxicidad, alergenicidad y potencial carcinogénico del formaldehído. Se ha constatado que concentraciones de formaldehído superiores a 0'1 ppm en el aire puede irritar las mucosas, provocar lagrimeo, su inhalación puede dificultar la capacidad respiratoria, provocar sensación de quemazón en la garganta, dolores de cabeza y posiblemente contribuir a producir asma. Asimismo, los especímenes no plastinados no permiten una manipulación cercana e interactiva y se deterioran con el tiempo (Dejong & Henry, 2007), lo que limitan en gran parte su uso en docencia. Además, en la medicina veterinaria moderna, el uso de especímenes para la práctica anatómica clínica es cada vez más complicado, debido a razones como los derechos y bienestar de los animales y el coste del animal (Nam et al., 2020).

Debido a esto, el desarrollo de las nuevas tecnologías ha comenzado a cambiar la enseñanza de la anatomía veterinaria, ampliando las formas de participación en los contenidos y, sobre todo, en la visualización de las estructuras anatómicas (Kirkwood & Price, 2014). Existe un término utilizado en literatura, Technology-Enhanced Learning (TEL), que describe el uso de tecnologías de la información y la comunicación para mejorar la enseñanza y el aprendizaje (Kirkwood & Price, 2014). En la actualidad la calidad de los recursos TEL ha proporcionado a los estudiantes

la oportunidad de utilizar herramientas digitales fuera del aula (Keenan & ben Awadh, 2019; Steffens, 2006)). Este desarrollo sumado a la falta de cadáveres, el aumento del número de estudiantes con otra mentalidad hacia el uso de la tecnología (Habbal, 2009; Kharb & Samanta, 2016), y el padecimiento de la pasada pandemia, ha impulsado a los docentes a utilizar métodos de docencia a distancia para la enseñanza de la anatomía (Iwanaga et al., 2021; VEDI et al., 2022). Entre esas nuevas tecnologías, han introducido, sobre todo en campos biomédicos de investigación, práctica y educación, el prototipado rápido específicamente enfocado en la impresión tridimensional (3D) (AbouHashem et al., 2015).

La impresión 3D, también conocida como fabricación aditiva (AM), es una técnica moderna de fabricación digital, donde se construyen objetos tridimensionales añadiendo capa por capa. Este proceso se realiza directamente a partir de modelos creados en un software de diseño asistido por ordenador (CAD) (Aboulkhair et al., 2019; Goh et al., 2021; Goodridge et al., 2012; Khoo et al., 2015; Ngo et al., 2018; Sing et al., 2016; Tareq et al., 2021; Zhu et al., 2021). En los últimos veinte años, la impresión 3D se ha vuelto muy popular gracias a sus numerosas ventajas. Esta técnica ofrece libertad de diseño permitiendo crear objetos multifuncionales. Asimismo, puede producir estructuras complejas y delicadas en un período corto de tiempo (Pérez et al., 2020). (Hossain et al., 2020; Massaro et al., 2014). Es debido a esto, que la impresión en 3D se ha convertido en una técnica de fabricación adecuada en diversos campos como la ingeniería, la electrónica, la biomédica, etc (Espalin et al., 2014; Goh et al., 2017, 2020; Goyanes et al., 2016; Jang et al., 2018; Jiménez et al., 2019; Low et al., 2017; Ngo et al., 2018; Pérez et al., 2020; Zhu et al., 2021).

Para lograr la impresión, existen diferentes tipos de escáneres 3D disponibles en el mercado, que varían segundo sus especificaciones de escaneo y su coste (Farhan et al., 2023). Entre los más comunes actualmente se encuentran los escáneres de luz láser. Esta técnica se basa en el cálculo del tiempo que tarda la señal láser en viajar desde el escáner hasta el objeto, creando así una malla tridimensional de escaneo (Roberts et al., 2016). Esto simplifica la creación de una nube de puntos de dicho elemento. Esta nube de puntos es un conjunto de puntos individuales que se captan en el espacio tridimensional gracias al escáner 3D. Cada punto posee unas coordenadas específicas (X, Y, Z) que representan su posición en el espacio. Esto da lugar a un modelo 3D final detallado. Uno de los problemas del uso de un escáner láser en este estudio, además del coste de la adquisición del escáner, es que no se pueden capturar imágenes a color de un objeto o, si lo hacen, es de una calidad mediocre, dando como resultado un modelo 3D virtual acromático. Es precisamente por este motivo, además del económico, que en este estudio no se ha explorado esta técnica y se optó por investigar en profundidad la técnica de la fotogrametría (Kadobayashi et al., 2004).

2.1 Especímenes empleados en anatomía

Debido a la posible escasez de especímenes (cadáveres donados), la conservación a largo plazo sin que se produzca putrefacción es uno de los factores más importantes a la hora de utilizar cadáveres con fines educativos (Nam et al., 2020). Para llevarla a cabo, se han desarrollado diferentes métodos de embalsamiento, destacando la plastinación, la fijación con formaldehído o la fijación utilizando alternativas al formaldehído (Bilge & Celik, 2017; Haizuka et al., 2018; Hayashi et al., 2014; Janczyk et al., 2011; Lombardero et al., 2017; Tamayo-Arango & Garzón-Alzate, 2018; Turan et al., 2017). Entre los métodos de embalsamiento, la solución de formalina (FS) tiene la ventaja de preservar de manera duradera las estructuras anatómicas. Esto se produce debido a la formación de enlaces químicos con las proteínas de los tejidos, consiguiendo que se detenga la autólisis y previniendo la infección microbiana (Brenner, 2014). Esta técnica de preservación es de las más utilizadas a la hora de preservar cadáveres para la práctica de laboratorio anatómico (Ajaji et al., 2011; Coleman & Kogan, 1998; Raja & Sultana, 2012). Por otro lado, una de las grandes desventajas de esta técnica de preservación es que los cadáveres presentan rigidez en los movimientos articulares y musculares, el cambio de textura y color experimentado por los tejidos, además de los peligros para la salud relacionados con la formalina como irritante y carcinógeno (Brenner, 2014; Raja & Sultana, 2012; Wantke et al., 2000).

La plastinación es uno de los métodos de conservación más recientes. Es ampliamente utilizado en campos como el de la anatomía para preservar especímenes anatómicos de todo el cuerpo o partes de él. Esta metodología consiste principalmente en sustituir lentamente los fluidos tisulares y una parte de los lípidos tisulares por un polímero al vacío (Latorre et al., 2007). Según la elección del polímero, se pueden definir las propiedades ópticas de las muestras plastinadas (opacas o transparentes), y las propiedades mecánicas (suaves, flexibles o duras) (Sora et al., 2019). Entre los polímeros más utilizados se encuentran las resinas de silicona, epoxi o poliéster, y todos ellos mantienen las muestras anatómicas en un estado seco e inodoro, requiriendo un mantenimiento mínimo (Sargon & Tatar, 2014). La plastinación con silicona es la técnica más utilizada. La desventaja de este proceso es que es cara e implica múltiples etapas, que, en su conjunto, pueden extenderse durante días o semanas, además de que requiere del uso de productos irritantes, volátiles y productores de gases. Por consiguiente, es un procedimiento que requiere seguir estrictamente numerosas instrucciones y controles de seguridad (Sargon & Tatar, 2014).

Por otro lado, podemos encontrar modelos anatómicos conservados mediante la técnica de la insuflación, este método consiste en la aplicación continua de aire en el interior de la pieza anatómica que se quiere preservar, preferiblemente en órganos de capa delgada. Esta técnica deseca las paredes y mantiene la estructura morfológica de la pieza, aportándole rigidez y dureza. Es una técnica rápida y de bajo costo. Se debe diseñar e instalar un sistema de distribución de

aire para que el flujo sea continuo durante todo el proceso. Las piezas tratadas con esta técnica deberán ser lavadas correctamente, debido a que una vez insufladas, no se podrán retirar los tejidos adyacentes. Al finalizar este proceso se recomienda barnizar las piezas para aportarles luminosidad y protección (Xicoténcatl et al., 2022).

2.2 Técnicas de escaneo en 3D

Como comentábamos, la impresión 3D es una técnica moderna de fabricación digital a partir de un software específico (CAD). Una gran desventaja que presentaba anteriormente el modelaje en 3D era el coste de un equipo y unas instalaciones especializadas para llevarlo a cabo, a los cuales no todas las instituciones podían tener acceso (Burk & Johnson, 2019; Katz & Friess, 2014).

Surge así la técnica de la fotogrametría, que es la ciencia de extracción de información tridimensional a partir de imágenes bidimensionales, es decir, es la realización de múltiples fotografías en 2D de un objeto desde todos los ángulos posibles, captando en las imágenes sus características geométricas y puntos específicos, para posteriormente ser usadas en la reconstrucción tridimensional de dicho objeto (Sajinkumar & Oommen, 2018). Esta técnica representa un método nuevo y económico que permite realizar un trabajo adecuado en un espacio moderadamente pequeño, además de ser relativamente fácil de usar. Sumado a esto, se pueden usar equipos comunes como cámaras digitales o teléfonos móviles, simplificando su uso a profesores y estudiantes (Van Vlasselaer et al., 2024).

El proceso suele constar de varias etapas a las que se añade, como primer paso, la adquisición de las fotografías desde varios ángulos fotográficos con la mayor calidad posible (Trandzhiev et al., 2023). A continuación, se genera la nube de puntos a partir de los datos capturados en las fotografías. Posteriormente se produce la orientación y triangulación donde esos puntos se conectan creando una malla de triángulos, que formarían la superficie del modelo 3D. Después se pasa a la reconstrucción de superficies (donde se concluye la triangulación) y finalmente el mapeado de texturas, donde el modelo adquiere color y textura para ser utilizado en aplicaciones cartográficas, que sería el software propio donde se visualizaría el modelo 3D final (Ozsoy et al., 2015). Hoy en día, estos pasos se realizan mediante programas informáticos específicos (Aydin et al., 2023; de Oliveira et al., 2023).

Además de la técnica de la fotogrametría, desarrollada en este estudio, y la de luz láser comentada anteriormente, existen varios tipos de escáneres 3D con distintas especificaciones y costes (Farhan et al., 2023). Existen en el mercado escáneres 3D que capturan datos detallados en 3D utilizando luz estructurada que se proyecta sobre el objeto que se escanea, en forma de rayas verticales (Al-Anezi et al., 2013). Existen diferentes ejemplos de este tipo de escáner que

puede utilizar luz blanca, luz roja o luz azul de alta calidad (Farhan et al., 2023). Por otro lado, están siendo reconocidos los métodos LADAR o LIDAR, ambas tecnologías funcionan enviando impulsos láser a un objeto. LIDAR está más orientada hacia el escaneo de superficies en campos civiles y comerciales, como la construcción, la topografía, las operaciones en movimiento de tierras, alineación de carreteras, etc. y LADAR se enfoca en aplicaciones militares y de defensa, en la detección y seguimiento de objetos (El-Omari & Moselhi, 2008; Massaro et al., 2014). Una de las principales diferencias que determina la calidad y la resolución de cada tipo de escáner es la cantidad de puntos que capturen por segundo (El-Omari & Moselhi, 2008).

2.2.1 Adecuación del entorno

Para llevar a cabo la fase del escaneado, hay que tener en cuenta una serie de detalles del entorno. La iluminación debe ser lo más uniforme posible, evitando las zonas de luz fuerte y las zonas de sombra, por lo que las superficies reflectantes, como ventanas, espejos o metales pueden dificultar el proceso de alineación necesario para crear las imágenes tridimensionales. Por esta razón, se debe cubrir u ocultar cualquier superficie reflectante del lugar donde se vayan a tomar las fotografías. Además, se ha demostrado que el uso de un fondo homogéneo de un solo color, coincidente con el color de la figura o pieza que se quiera capturar, puede reducir la precisión en la alineación de puntos, dando como resultado modelos finales inexactos. Por último, también es importante colocar la pieza de manera que sea posible acceder a todas sus perspectivas (Burk & Johnson, 2019).

2.3 Modelos 3D físicos

La impresión 3D es una tecnología que permite crear objetos tridimensionales a partir de un modelo digital. La impresión de modelos 3D se distingue de otros métodos de fabricación, por su capacidad para crear modelos físicos mediante la adición controlada y específica de material, permitiendo la construcción de objetos sin desgaste ni rotura (Alharbi et al., 2017). Para lograr un resultado adecuado, con exactitud, hay dos variables a tener en cuenta: la precisión y la veracidad. La precisión hace referencia a la capacidad de un método para generar numerosos modelos con medidas similares; por otro lado, la veracidad hace referencia a la capacidad de una técnica de crear modelos con detalles semejantes al modelo de referencia que se va a replicar. La característica final deseada es que el generador de modelos presente una precisión y una veracidad clínicamente aceptables (Ender & Mehl, 2015; Park & Shin, 2018; Wan Hassan et al., 2017).

Al igual que cualquier proceso de fabricación, la impresión 3D requiere de materiales de alta gama que cumplan con una serie de especificaciones para producir objetos que mantengan una calidad uniforme. La tecnología de impresión 3D es capaz de producir piezas funcionales a partir de una amplia gama de materiales (Shahrubudin et al., 2019). Entre ellos destacan la cerámica, elementos metálicos, polímeros plásticos, cera o resina (Rebong et al., 2018).

2.3.1 Técnicas de impresión en 3D

Una vez logrado el escaneado, existen diversas formas de obtener los modelos impresos. La norma ISO / ASTM 52900:2015 ha realizado una clasificación de las diferentes gamas de procesos relacionados con la AM (Kafle et al., 2021). El principio fundamental de funcionamiento sienta las bases de esta clasificación, que incluye: la inyección de material, la inyección de aglutinante, la fusión de lecho en polvo, la fotopolimerización en cuba, la extrusión de material, la deposición directa de energía y la laminación de capas (Ngo et al., 2018). Además, según el material utilizado, la AM se puede clasificar en tres categorías distintas: base sólida, base en polvo y base líquida (Figura 1). Asimismo, la mayoría de estudios se centran en la impresión utilizando polímeros, los cuales se pueden imprimir utilizando las tres técnicas mencionadas anteriormente (Stansbury & Idacavage, 2016).

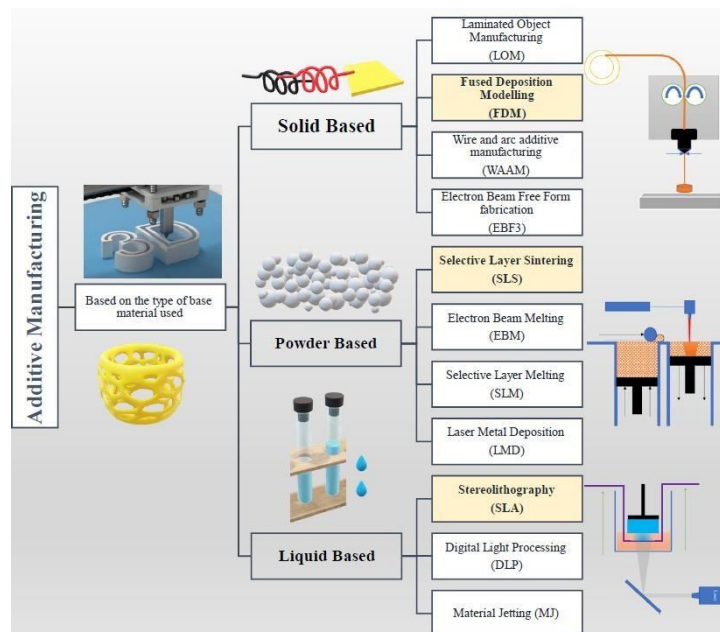


Figura 1: Clasificación de las técnicas en función del material de base utilizado, resaltando en amarillo las más utilizadas. Imagen obtenida de Kafle et al., 2021.

En primer lugar, en la impresión 3D se crea el modelo CAD de la figura que se quiere recrear y posteriormente se genera un archivo en formato de lenguaje de teselación estándar (STL). Este archivo describe la geometría del objeto 3D. Durante este paso, la geometría continua del archivo CAD se convierte en pequeños triángulos (Wong & Hernandez, 2012). Acto seguido, el archivo STL se transfiere a un software de corte de modelos, que elabora el archivo denominado código G. Este archivo es el que va a proporcionar las instrucciones a la impresora 3D de cómo fabricar el objeto. Con el software de corte se pueden controlar multitud de parámetros como la densidad de relleno del modelo, el grosor de las paredes externas, la orientación sobre la plataforma de impresión y la escala de la pieza. En esta etapa, el modelo 3D se convierte en cortes en 2D que contienen la información de las secciones transversales (Hu, 2017). Finalmente, la impresora 3D comienza el procesamiento del material y el proceso de estratificación, creando el objeto diseñado (Kafle et al., 2021).

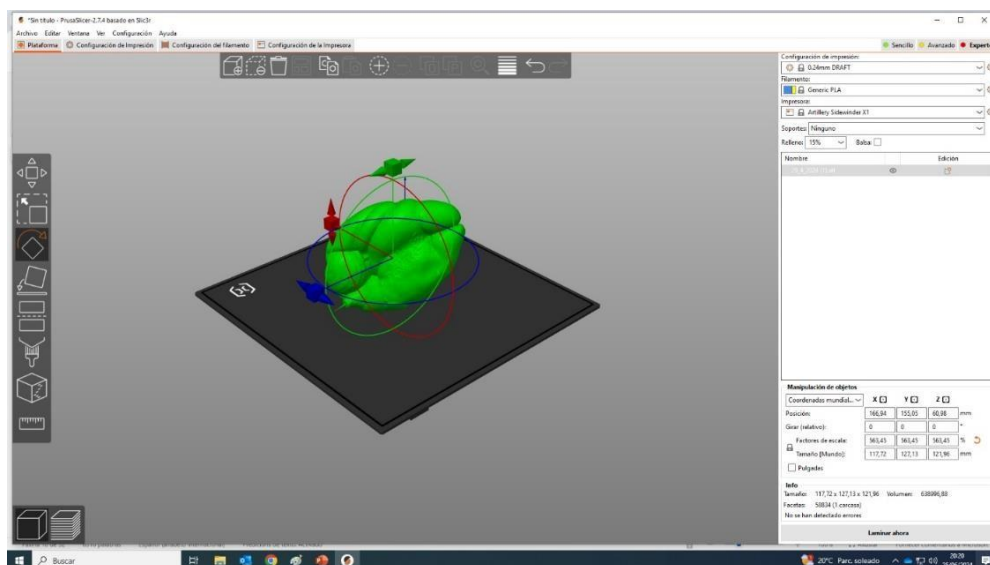


Figura 2: Captura del programa de capeado (Prusaslicer 2.7.4).

El modelado por deposición fundida (FDM), es un procedimiento en el que se deposita filamento termoplástico que se funde y se extruye capa por capa sobre una plataforma, a través de una boquilla caliente (Andrew et al., 2021; Awasthi & Banerjee, 2021; Garzon et al., 2020; Garzon et al., 2020; Gautam et al., 2018; Mazzanti et al., 2019; Shaqour et al., 2021; Wickramasinghe et al., 2020; Zanjanijam et al., 2020). Este filamento de polímero aumenta de temperatura hasta alcanzar un estado semisólido y se deposita en una plataforma caliente. La boquilla de la impresora sigue la trayectoria del objeto capa por capa, y en el momento en el que se cambia y se pasa a la siguiente capa, se produce el desplazamiento de la plataforma hacia abajo o bien de la boquilla hacia arriba, eyectando más material y continuando nuevamente con la trayectoria

del objeto. Las piezas impresas en 3D por medio de FDM dependen de tres parámetros principales: temperatura de la boquilla, temperatura de la plataforma y espesor de la capa (Aliheidari et al., 2018).

Por otro lado, también se emplea con frecuencia el sinterizado selectivo por láser (SLS). Con este proceso se produce un objeto a partir de materiales en polvo utilizando uno o más láseres, que funden parcial y selectivamente las partículas en la superficie (el material en polvo), en una cámara cerrada (Bourell, 2016; Charoo et al., 2020; Senthilkumaran et al., 2009; Simha Martynková et al., 2021; Stoia et al., 2019). Existen diferentes mecanismos que realizan el proceso de fusionar los polvos, aunque, normalmente los polvos de material se funden por difusión molecular a través de un láser de alta potencia. En este proceso, es la plataforma la que, una vez fundida la primera capa de polvos, se desplaza hacia abajo para que se funda la siguiente capa de polvos (Wudy et al., 2016), terminando el proceso con la capa superior del producto final.

El sistema de estereolitografía (SLA) realiza el proceso de impresión en 3D utilizando la polimerización en una resina fotocurable que se solidifica mediante la fotopolimerización iniciada por absorción de luz, es decir, utiliza un láser UV para curar una resina líquida fotosensible (Andreu et al., 2021; Bagheri & Jin, 2019; Burke et al., 2020; Martín-Montal et al., 2021; Okolie et al., 2020; Pagac et al., 2021). La fotopolimerización es una técnica que hace uso de rayos de luz para propagar un proceso de polimerización en cadena, de modo que consigue unir las macromoléculas existentes mediante enlaces cruzados (Bagheri & Jin, 2019). Usando un rayo láser, controlado por ordenador, se ilumina en la superficie de la resina un patrón, que va a ser el lugar donde incidirá el haz de luz para solidificar la resina. Este paso se realiza repetidamente capa por capa solidificando la resina y formando cada capa del objeto final (Melchels et al., 2010).

Las técnicas de impresión se pueden seleccionar mediante una serie de requisitos, como son la simplicidad de impresión, las propiedades mecánicas, el tiempo de impresión o la resolución de capas. Por ejemplo, el SLA consigue imprimir piezas con una resolución de hasta 10 micrómetros (Wang et al., 2017), mientras que en las piezas impresas con SLS la resolución mínima de capa es de 20 micrómetros (Muzaffar et al., 2019) y en las piezas impresas con FDM la resolución es de hasta 40 micrómetros (Alsoufi et al., 2019). En términos de simplicidad, el proceso más adecuado es el FDM, ya que consiste simplemente en calentar un filamento de polímero hasta un estado semisólido donde se deposita directamente en la cama caliente de impresión. Siendo el proceso SLS el más complejo, ya que requiere del movimiento de dos sistemas: el rodillo y el láser. Por otro lado, si la selección se basa en el volumen de impresión, el material y el proceso de impresión requerido, FDM ofrece una gran amplitud de materiales para la impresión 3D, mientras que SLA proporciona una alta resolución en la impresión (Kafle et al., 2021).

Sistema	Ventajas	Inconvenientes
FDM	Proceso simple; económico; ampliamente disponible; adecuado para una variedad de aplicaciones	Menor precisión comparado con SLS; opciones de materiales limitadas
SLS	Alta precisión; tiempo de impresión rápido; adecuado para geometrías complejas	Costoso; proceso complejo, requiere control preciso del rodillo y del láser
SLA	Alta resolución; buen acabado superficial; adecuado para modelos detallados	Tiempo de impresión más lento; requiere post-procesado; relativamente costoso

Tabla 1: Ventajas e inconvenientes de los principales métodos de impresión 3D. Información obtenida de Kafle et al., (2021)

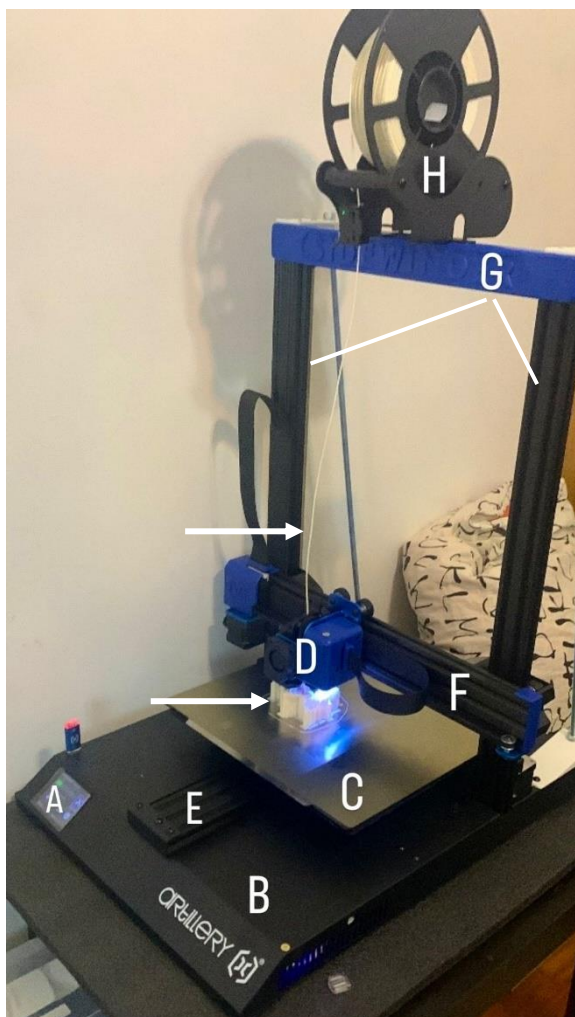


Figura 3: Fotografía de una impresora FDM. A. Panel de control; B. Base; C. Cama caliente; D. Extrusor (controla el flujo de filamento); E. Guía del eje Y; F. Guía del eje X; G. Guía del eje Z; H. Carrete de filamento. La flecha superior señala el filamento (PLA), la flecha inferior señala la cubierta protectora donde se encuentra el hotend (calienta y funde el filamento). Imagen cedida por el Dr. Óscar Varela.

OBJETIVOS

Este estudio tiene como objetivo principal ahondar en el uso de la impresión y modelado en 3D como herramienta educativa en el ámbito de la anatomía veterinaria. Se explorará la técnica de la fotogrametría para obtener modelos 3D a partir de modelos anatómicos, para posteriormente proceder a la impresión de una selección de estas piezas. Además, se evaluará la aceptación del alumnado de veterinaria sobre el uso de estos modelos anatómicos como un nuevo recurso para el aprendizaje de la anatomía.

3 MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Especímenes

Las figuras anatómicas empleadas para la generación de los modelos 3D de este estudio procedieron del Museo Anatómico de la Facultad de Veterinaria de la USC, situado en la planta baja del Pabellón III. En su mayor parte, se trataba de reproducciones a escala adquiridas a través del catálogo de SOMSO®, de su subsección “animales vertebrados de zoología” (<https://www.somso.de/es/zoologia/animales-vertebrados/>). También se incluyó una pieza biológica (ciego-colon de caballo) preparada previamente mediante insuflación y secado de la misma.

3.2 Escáner

El proceso de escaneado de las preparaciones se llevó a cabo en una de las estancias aledañas a la Sala de Disección de la Facultad de Veterinaria de la USC, dada su proximidad a las piezas a escanear.

El dispositivo utilizado para efectuar las fotografías fue un iPhone 14 Plus, haciendo uso del programa residente dedicado del propio teléfono móvil. Se capturaron alrededor de 200 – 250 fotografías por cada modelo desde múltiples perspectivas abarcando, a diferentes niveles, todos los ángulos de la figura. Inicialmente, se utilizó una caja de luz para evitar cualquier tipo de sombra, sin embargo, se descartó esta opción porque no permitía obtener vistas de todas las perspectivas del objeto.

Las distintas piezas anatómicas se fotografiaron utilizando dos técnicas diferentes. En la primera técnica utilizada, la figura se mantuvo estática mientras la persona encargada de realizar las fotografías se desplazaba alrededor de ella, encargándose de capturar todas sus perspectivas. En la segunda técnica, la persona encargada de realizar las fotografías permaneció estática y la figura rotó ligeramente sobre un eje previamente establecido con la ayuda de una pequeña fuerza aportada, mostrando todos sus ángulos desde una única perspectiva.

Las fotografías se tomaron a una distancia aproximada de 20 – 30 centímetros de la figura, intentando que esta ocupase prácticamente todo el plano de la captura. El tiempo utilizado para cada pieza a escanear estuvo ligado al tamaño de la figura y a la cantidad de detalles que esta poseía, pero se calculó en torno a 20 – 25 minutos por pieza. La actividad que requirió más tiempo fue la disposición de la pieza de manera que todos sus ángulos fueran accesibles a fotografiar. Una vez logrado esto, el proceso de fotografiado no requirió una suma importante de tiempo.

3.3 Impresión 3D, archivos y recuperación

Las fotografías tomadas se transfirieron a un ordenador. Este paso no es estrictamente necesario, pero facilita posteriormente el proceso de elección y adjunto de archivos a la aplicación utilizada, que realiza la función de software de fotogrametría.

Se procedió a ajustar el encuadre de las fotografías en las que la pieza no estaba centrada o en las que aparecían elementos en el fondo que pudieran distorsionar el resultado, debido a que en este estudio no se utilizó un fondo homogéneo. Además, se realizaron ajustes de edición en las capturas con iluminación tenue o insuficiente para que presentaran una uniformidad adecuada. Todo se llevó a cabo antes de cargar las imágenes en el software de fotogrametría.

Una vez realizada la carga de archivos en la aplicación Polycam ® (www.poly.cam), se especificaron una serie de parámetros. Entre ellos, la aplicación permitía adjudicar un nombre al modelo a crear. Además, ofrecía la opción de cómo distribuir el resultado, es decir, de manera selectiva a través de un enlace o abiertamente al público general en la aplicación. Posteriormente podíamos seleccionar la modalidad de “subida” del archivo creado. En este sentido, existían cuatro posibles modalidades, cada una de ellas adecuada a un tipo de modelaje 3D. En nuestro caso utilizamos el tipo ‘Full’, recomendada si se quiere un resultado de alta calidad y la pieza original escaneada no es muy grande. Por último, nos permitía utilizar dos opciones, según la modalidad del escaneado. La primera opción era recomendable activarla si no se usaba un fondo en específico durante el proceso, que fue el caso de este estudio por lo que esta opción fue habilitada. La segunda opción se aconsejaba seleccionarla si las fotografías subidas a la

aplicación eran secuenciales, es decir, si se subían siguiendo los ángulos de la figura escaneada en orden, no se utilizó esta opción en este estudio.

El tiempo que transcurre durante la creación del modelo en 3D depende de la cantidad de detalle que posea la figura de la que se parte, de la magnitud de esta y de la totalidad de fotografías que se suban para elaborarlo, aproximadamente 20 – 30 minutos.

Una vez creados, los archivos STL de los modelos digitales del estómago de cerdo del estómago de rumiante se importaron del servicio web Polycam® y se imprimieron con la impresora 3D – modelo Artillery ® sidewinder x2 (Hong Kong, China). La impresora, utilizando la técnica de modelado FDM, utilizó el polímero termoplástico PLA para crear los modelos finales. El proceso de impresión requirió entre 20 – 30 horas para el finalizado de cada una de las piezas seleccionadas.

3.4 Post-procesado

Después de la elaboración de los modelos 3D de las figuras anatómicas iniciales, se llevó a cabo el proceso de lijado de ambas para ocultar las sutiles líneas de impresión. Posteriormente, se aplicaron a las réplicas dos manos de pintura acrílica con el fin de mejorar el acabado final y resaltar detalles de importancia de las mismas.

3.5 Percepción de utilidad por parte del alumnado

Con el fin de conocer la opinión del alumnado acerca de la utilidad de estos modelos tridimensionales, se diseñó un cuestionario utilizando Microsoft Forms. Este cuestionario abarca preguntas sobre la percepción de los modelos 3D virtuales de órganos para el estudio de la Anatomía Veterinaria. Fue distribuido entre los estudiantes de primer curso y constaba de 8 preguntas, todas de carácter obligatorio. Se realizó de manera anónima y su participación fue voluntaria. Las preguntas realizadas fueron las siguientes:

1. ¿Has utilizado alguna vez modelos 3D virtuales para estudiar anatomía veterinaria?
2. ¿Con qué frecuencia utilizas modelos 3D virtuales en tus estudios?
3. En una escala del 1 al 5, ¿cuán útiles consideras que serían los modelos virtuales en tu aprendizaje?
4. ¿Crees que los modelos virtuales mejoran tu comprensión de la anatomía en comparación con los libros de texto tradicionales?

5. ¿Qué aspectos positivos destacarías del uso de modelos virtuales? (Selecciona todas las que correspondan)
6. Comparado con los métodos tradicionales (libros, diagramas, órganos reales), ¿cómo calificarías los modelos en 3D virtuales?
7. ¿Consideras que una combinación de modelos en 3D virtuales y métodos tradicionales es más efectiva para el aprendizaje de la anatomía?
8. ¿Recomendarías el uso de modelos en 3D virtuales a otros estudiantes?

Tabla 2: Tabla con las preguntas que conforman el cuestionario.

Enlace del cuestionario:
https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScw3tvuJuCgWxoYvtbqOaSeSHMmgR8Ei73PGyx6vtiLzQpeUw/viewform?usp=sf_link

4 RESULTADOS

4.1 Escaneado de las preparaciones

Durante el desarrollo de este trabajo se emplearon dos técnicas diferentes para obtener las fotografías de los modelos, sin embargo, solo una de ellas produjo resultados satisfactorios. Se optó inicialmente por utilizar una caja de luz para crear un entorno libre de sombras. No obstante, no fue posible su uso debido a las limitaciones que imponía para el acceso a todas las perspectivas del objeto dando resultados finales inadecuados. Además, dado que este estudio preliminar careció de financiamiento adicional, solamente se utilizó la iluminación de la sala donde se realizaron las fotografías. Como resultado, al utilizar la técnica en la cual el sujeto se movía alrededor de la figura, se observaron en las fotografías áreas de la pieza escasamente iluminadas. Por lo tanto, se decidió emplear la segunda técnica, en la cual la pieza rotaba ligeramente mientras la cámara permanecía estática, aprovechando el ángulo de mayor luminosidad disponible.

4.2 Modelos en 3D virtuales

A través de la técnica de la fotogrametría, se logró obtener representaciones precisas de las piezas anatómicas escaneadas, transformándolas en modelos 3D virtuales con alta fidelidad. Los

colores se correspondieron fielmente con las piezas reales. En áreas de las fotografías donde las piezas físicas tenían menor luminosidad, estas sombras también salieron reflejadas en los modelos 3D generados. Dentro de la aplicación, los modelos son fácilmente manipulables, se pueden girar en los tres ejes, se pueden ampliar, desplazar y alejar.

Se muestran en la siguiente figura capturas de pantalla de diferentes ejemplos de modelos virtuales en 3D conseguidos con la realización de este estudio, y se pueden acceder a algunos de los diferentes modelos interactivos creados con los siguientes enlaces:

- estómago de rumiante: <https://poly.cam/capture/85bd574b-7ffc-4aa2-9809-40c215eba3fa>
- corte sagital de corazón vacuno: <https://poly.cam/capture/d149395d-d5b0-4074-9940-b4cba9a99fa6>; <https://poly.cam/capture/d149395d-d5b0-4074-9940-b4cba9a99fa6>
- corte sagital de mama de novilla: <https://poly.cam/capture/c984db57-5d02-405d-99ff-70b47d549fa7>;
- corazón canino: <https://poly.cam/capture/3437ee2f-ccd9-4b67-97a3-290d92d69bf1>
- corte sagital de corazón canino: <https://poly.cam/capture/b708874b-ad56-4413-80dc-a0ffec51d54d>; <https://poly.cam/capture/79e0a64e-2dc5-4c40-9320-1b20309eb3ec>;
- ciego-colon equino: <https://poly.cam/capture/11bbda23-e1e4-4de6-a592-1615e8275bf4>;
- aparato reproductor masculino equino: <https://poly.cam/capture/784620b8-f208-4530-a477-ae9e0f1ab77c>;
- estómago de cerdo: <https://poly.cam/capture/b37b84a0-0098-436b-ac58-596dcd89cdf8>;
- intestino delgado, grueso y páncreas de cerdo: <https://poly.cam/capture/46055dc3-6227-410c-8f8a-3485d4ce991e>;

- corte longitudinal de cabeza de cerdo: <https://poly.cam/capture/44d4e01e-461a-49c1-8515-43cf05bce46c>.

Entre los aspectos positivos cabe destacar la simplicidad de la técnica de fotogrametría, que permitió obtener resultados muy fieles a la realidad. Los detalles de las figuras escaneadas (Figura 4) fueron reproducidos de manera bastante precisa, aunque en áreas de las fotografías con menor intensidad lumínica, zonas en las que se produjeron sombras, la resolución del resultado se pudo ver ligeramente disminuida.

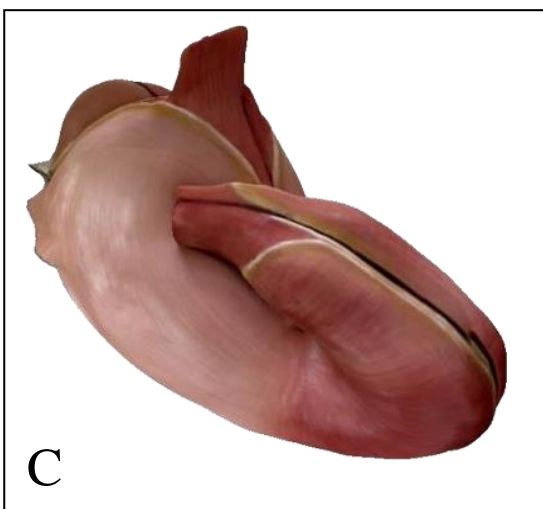
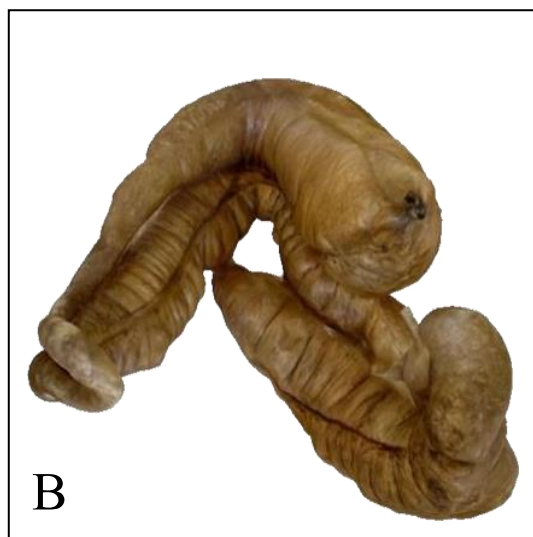


Figura 4: Capturas de pantalla de diferentes modelos en 3D virtuales. A. Estómago de rumiante; B. Ciego - colon de équido; C. Estómago de suido.

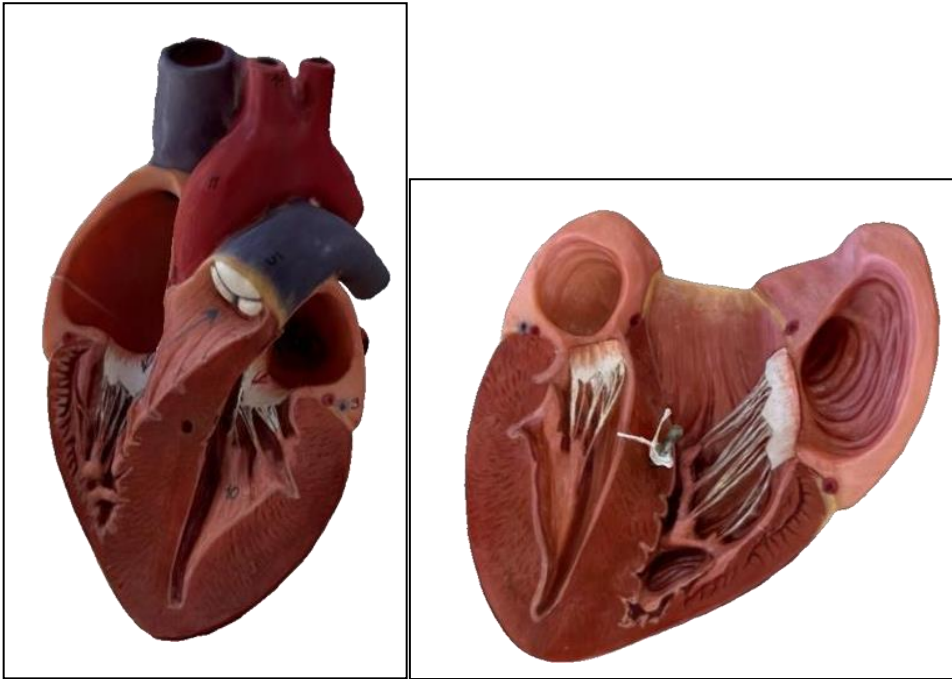


Figura 5: Capturas de modelos 3D virtuales finales mostrando diferentes cortes y perspectivas del corazón de perro.

4.3 Modelos 3D físicos

Se imprimieron a modo de ejemplo, los modelos 3D obtenidos a partir de los estómagos de rumiante y de suido. Ambos modelos impresos presentan líneas de deposición, si bien la calidad es considerablemente alta, la poca iluminación en algunas áreas afectó a la captura con precisión de los surcos de las piezas reales, interfiriendo en la textura final de los modelos impresos, difiriendo ligeramente el resultado final de la realidad, además de que se pierde algo de profundidad. Sin embargo, mantienen una respuesta anatómica fiel a la pieza original.

Se muestra a continuación fotografías del modelo final impreso del estómago de rumiante:

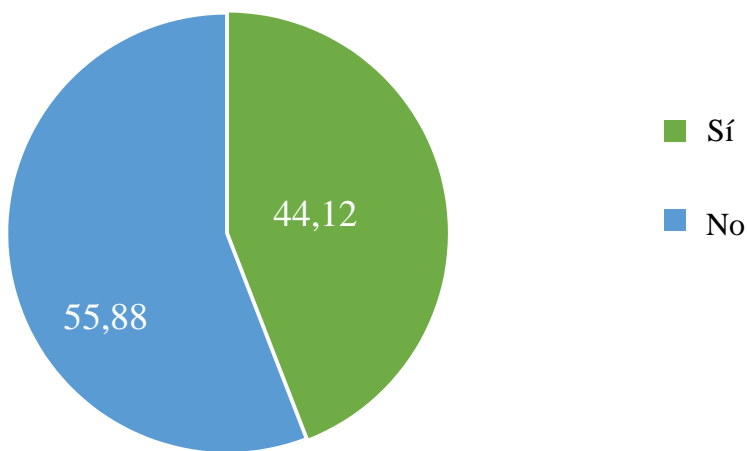


Figura 6: Diferentes perspectivas del modelo final impreso del estómago de rumiante.

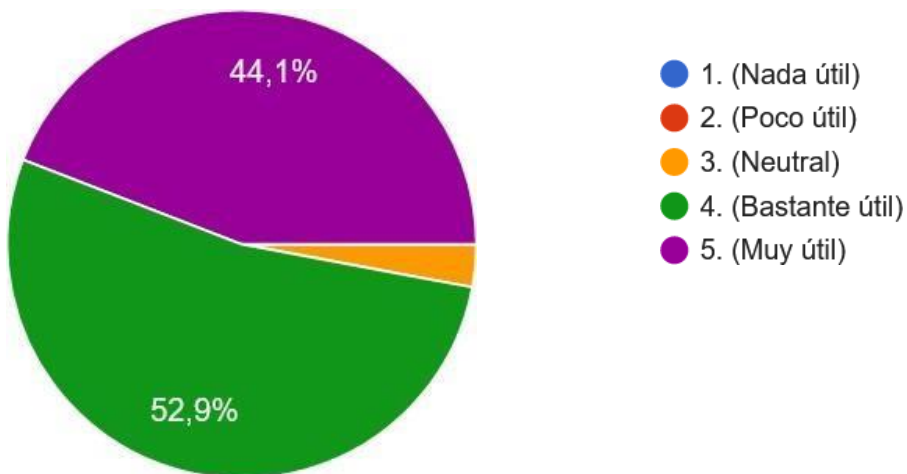
4.4 Percepción de utilidad por parte del alumnado

Entre los estudiantes a quienes se les entregó el cuestionario, respondieron unos 47 alumnos del primer curso de veterinaria. A continuación, se muestran los porcentajes de respuestas del cuestionario:

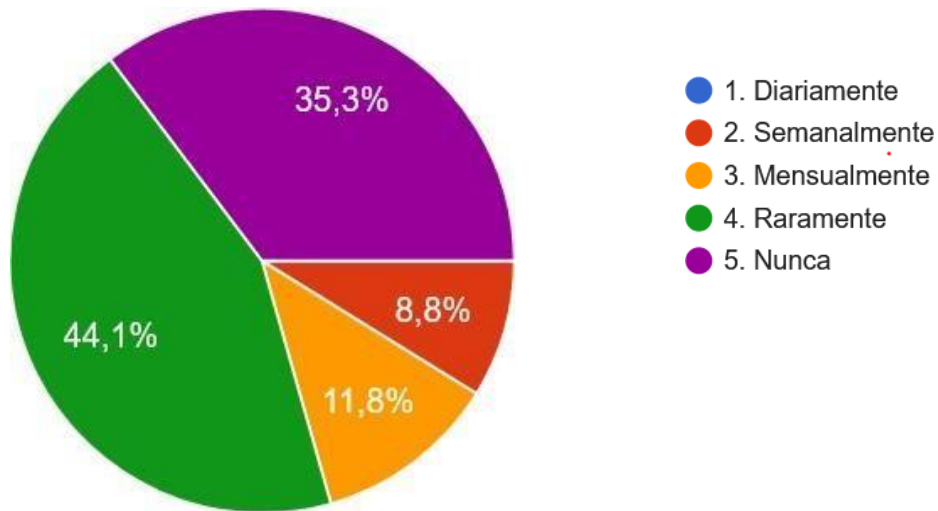
¿Has utilizado alguna vez modelos 3D virtuales para estudiar anatomía veterinaria?



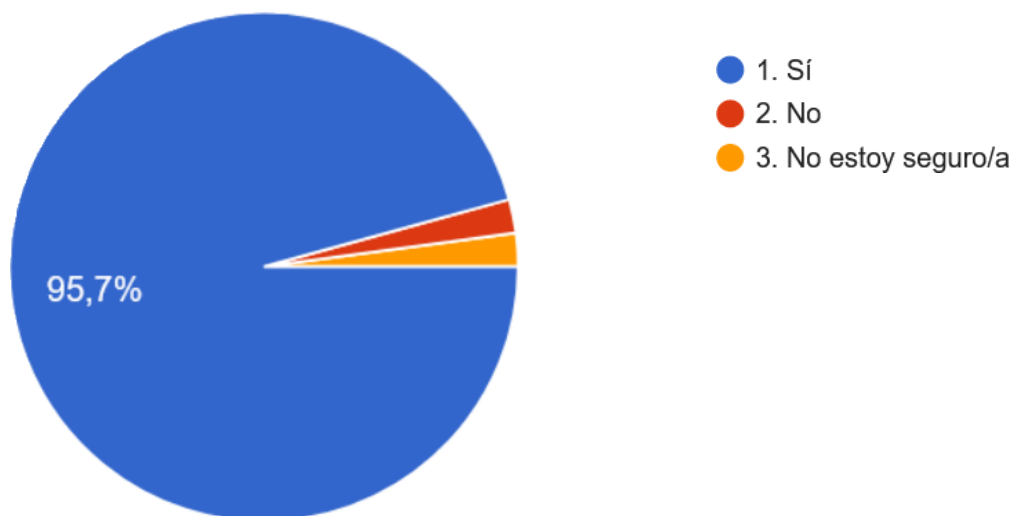
¿Con qué frecuencia utilizas modelos 3D virtuales en tus estudios?



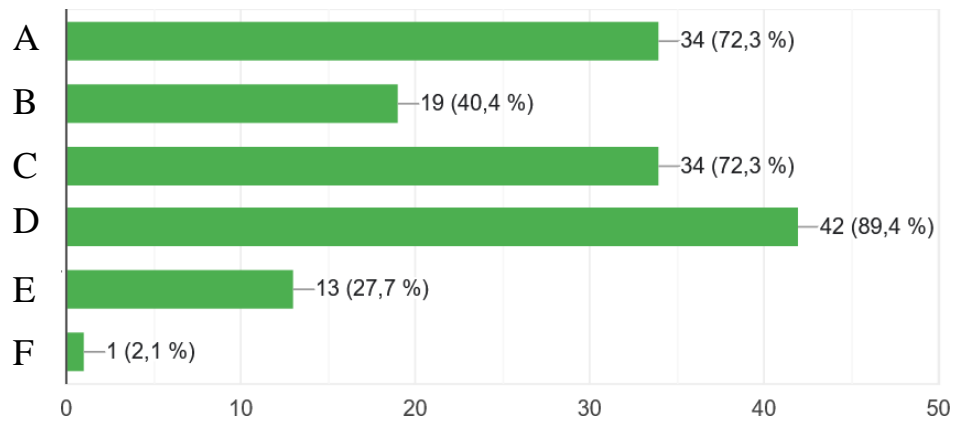
En una escala del 1 al 5, ¿cuán útiles consideras que serían los modelos virtuales en tu aprendizaje?



¿Crees que los modelos virtuales mejoran tu comprensión de la anatomía en comparación con los libros de texto tradicionales?



¿Qué aspectos positivos destacarías del uso de modelos virtuales? (Selecciona todas las que correspondan)



A) Interactividad y exploración 3D

B) Acceso a información adicional y detallada

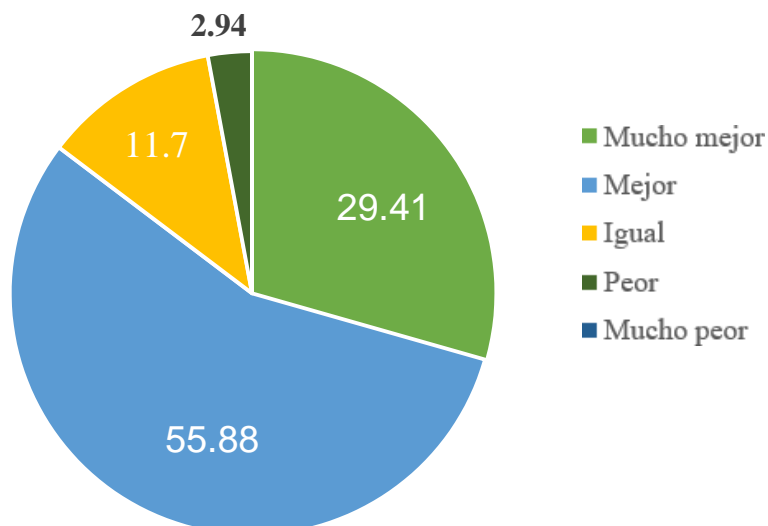
C) Facilidad para visualizar desde diferentes ángulos

D) Capacidad para estudiar fuera del laboratorio

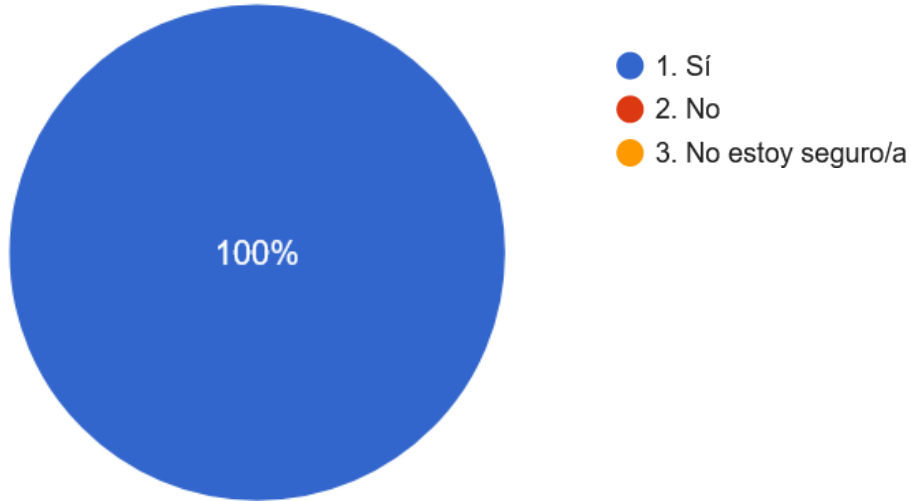
E) Facilidad para visualizar diferentes ángulos

F) Otra: complementa la sesión práctica para mejorar el aprendizaje interactivo

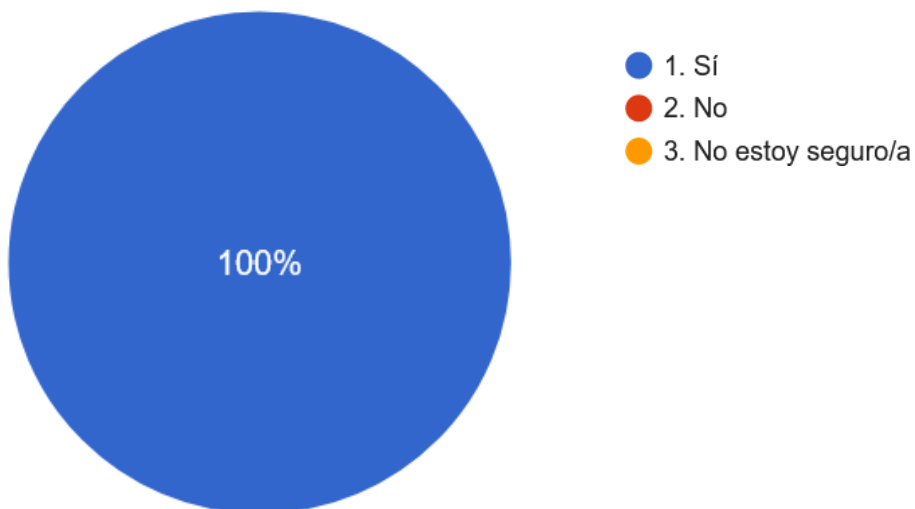
Comparado con los métodos tradicionales (libros, diagramas, órganos reales), ¿cómo calificarías los modelos 3D virtuales?



¿Consideras que una combinación de modelos en 3D virtuales y métodos tradicionales es más efectiva para el aprendizaje de la anatomía?



¿Recomendarías el uso de modelos en 3D virtuales a otros estudiantes?



¿Cuáles son los posibles aspectos negativos del uso de modelos 3D virtuales?

- Las texturas no se pueden reconocer para diferenciarlo mejor.
- No observas las texturas de los órganos ni puedes palpar detalles concretos de ellos.
- Son poco accesibles y se necesita un buen acceso a sistemas informáticos.

La baja tasa de participación en la encuesta formulada (47 alumnos de un total de 134) se puede atribuir al hecho de que el cuestionario se distribuyó durante período de estudio y exámenes. En general, se observa una alta tasa de aceptación, ya que el 97% de los encuestados consideran que los modelos 3D virtuales son en realidad bastante o muy útiles para mejorar y apoyar el aprendizaje y el estudio de la anatomía veterinaria. Sin embargo, también coinciden en los aspectos negativos del uso de estos modelos, concretamente en la incapacidad de poder tocarlos y la pérdida de información sobre la textura y sobre elementos específicos de las piezas anatómicas.

5 DISCUSIÓN

En el campo de la impresión en 3D existen diversas formas de escaneo y de impresión, y a medida que exigimos mayor precisión, calidad y realismo a los productos finales, el precio del equipamiento necesario para alcanzar estos resultados se incrementa considerablemente. Estos elementos alejaban el modelado e impresión en 3D de ámbitos no profesionales como es el de la docencia. Los resultados de este estudio han demostrado que el coste de crear modelos 3D interactivos mediante fotogrametría puede variar según los suministros disponibles. Sin embargo, utilizando materiales previamente adquiridos para tareas informáticas cotidianas y comunes, como es un teléfono móvil y un ordenador, el único gasto monetario puede ser simplemente la adquisición del software de fotogrametría.

Los resultados obtenidos en este estudio corroboran conclusiones obtenidas en investigaciones previas. En particular, nuestros hallazgos destacan las numerosas ventajas que poseen los modelos 3D virtuales, Van Vlasselaer et al. (2024) resalta en su estudio la facilidad de uso y distribución de los modelos 3D virtuales, además de su capacidad para facilitar la colaboración y diseminación del conocimiento en anatomía veterinaria. Asimismo, estos modelos generan un mayor interés y una mayor curiosidad en el alumnado por el estudio de la anatomía.

A través de este estudio, hemos comprobado que hay que prestarle una atención especial al entorno del lugar en el que se realizan las fotografías, si no se utiliza un fondo homogéneo.

Pequeños reflejos, cambios de iluminación u objetos del mismo color que la pieza a escanear pueden distorsionar el modelo, dando como resultado una figura deformada.

Por otro lado, se ha informado que los modelos 3D impresos son útiles en el aprendizaje de la anatomía a nivel superficial, como apoyo en el entendimiento de la estructura del órgano en concreto, pero no logran proporcionar la misma experiencia práctica ni consiguen mostrar características más profundas relacionadas con la textura y la palpación (Mashiko et al., 2015). Según este estudio, podemos determinar que los detalles superficiales o la experiencia táctil de los modelos 3D impresos no es la mejor ventaja que poseen, partiendo de una técnica de escaneo superficial. Sin embargo, la característica más destacada es su capacidad para mejorar la comprensión y la visualización espacial de las diversas relaciones entre las estructuras anatómicas, capacidad esencial para la disciplina de la anatomía (Azer & Azer, 2016).

Además, conforme a la mayoría de los estudios publicados en relación con esta temática, como el de Mendaza-Decal & Rojo (2021), AbouHashem et al., (2015) o el de Burk & Johnson (2019), el alumnado demuestra receptividad hacia estas técnicas como nuevos métodos de complementación en el aprendizaje, mejorando así el estudio de la anatomía veterinaria. Ninguno difiere en la sustitución total a los especímenes reales, o en el uso exclusivo de los modelos en 3D, debido sobre todo a la falta de similitud en las texturas de los modelos físicos, y a la imposibilidad de emplear el sentido del tacto y la palpación en los modelos virtuales. Pero sí que concuerdan que la combinación del empleo de modelaje en 3D con métodos tradicionales de estudio optimiza el aprendizaje de la anatomía veterinaria.

Estos resultados sugieren que la integración de modelos 3D, tanto virtuales como físicos, podrían mejorar significativamente la comprensión y enriquecer la formación anatómica de los estudiantes, promoviendo un aprendizaje más interactivo y efectivo. Este hallazgo coincide con los resultados obtenidos por De la Cruz Campos et al. (2022), quienes indican que el aprendizaje a través de la impresión 3D facilita la comprensión del estudio y lo convierte en una actividad más dinámica y colaborativa.

Limitaciones

En este trabajo partimos de una impresora que imprime a partir de FDM. Esto no fue una limitación propiamente dicha ya que ha llegado a proporcionar resultados finales adecuados para su uso con propósitos educativos, que era uno de los principales objetivos, pero para futuras investigaciones se podrían explorar otras técnicas, como es la SLA que posee una capacidad de impresión con mayor resolución que la técnica FDM (Kafle et al., 2021a). Entre las limitaciones que surgieron durante la realización de este proyecto destacarían que la falta de financiación impidió la adquisición de un escáner especializado o de una cámara fotográfica profesional, equipos que habrían proporcionado resultados con mayor resolución y definición.

Sería beneficioso, en un futuro, realizar investigaciones adicionales que exploren el uso de la fotogrametría y el uso de técnicas de aprendizaje virtuales junto con su efectividad en diferentes contextos educativos y en diferentes modalidades y especialidades veterinarias, aportando diferentes puntos de vista y utilizando diferentes tipos de muestras. Además de investigar y realizar estudios que se enfoquen, al igual que en medicina humana, en la impresión 3D como técnica de apoyo en ortopedia y traumatología, mediante la creación de réplicas de huesos para un ajuste más correcto de placas ortopédicas, entre otros usos.

6 CONCLUSIÓN

Tras la realización de este trabajo, hemos demostrado que la fotogrametría se presenta como una técnica accesible y sencilla para el modelado e impresión 3D en el ámbito de la docencia. Las réplicas tridimensionales producidas pueden ser utilizadas por los estudiantes para mejorar y reforzar sus métodos y estrategias de estudio de la anatomía veterinaria, complementando también con los modelos virtuales en 3D. La adopción de estas nuevas tecnologías tiene el potencial de transformar la enseñanza convencional al proporcionar una opción sostenible y ética que enriquece tanto el aprendizaje práctico como el teórico de los futuros profesionales.

7 BIBLIOGRAFÍA

- AbouHashem, Y., Dayal, M., Savanah, S., & Štrkalj, G. (2015). The application of 3D printing in anatomy education. *Medical Education Online*, 20(1), 29847. <https://doi.org/10.3402/meo.v20.29847>
- Aboulkhair, N. T., Simonelli, M., Parry, L., Ashcroft, I., Tuck, C., & Hague, R. (2019). 3D printing of Aluminium alloys: Additive Manufacturing of Aluminium alloys using selective laser melting. *Progress in Materials Science*, 106, 100578. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2019.100578>
- Ajaji, I., Shawulu, J., Ghaji, A., Omeiza, G., & Ode, O. (2011). Use of formalin and modified gravity-feed embalming technique in veterinary anatomy dissection and practicals. *Journal of Veterinary Medicine and Animal Health*, 3(6), 79–81.
- Al-Anezi, T., Khambay, B., Peng, M. J., O’Leary, E., Ju, X., & Ayoub, A. (2013). A new method for automatic tracking of facial landmarks in 3D motion captured images (4D). *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 42(1), 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2012.10.035>
- Alharbi, N., Wismeijer, D., & Osman, R. (2017). Additive Manufacturing Techniques in Prosthodontics: Where Do We Currently Stand? A Critical Review. *The International Journal of Prosthodontics*, 30(5), 474–484. <https://doi.org/10.11607/ijp.5079>
- Ali, M. H., Issayev, G., Shehab, E., & Sarfraz, S. (2022). A critical review of 3D printing and digital manufacturing in construction engineering. In *Rapid Prototyping Journal* (Vol. 28, Issue 7, pp. 1312–1324). Emerald Group Holdings Ltd. <https://doi.org/10.1108/RPJ-07-2021-0160>
- Aliheidari, N., Christ, J., Tripuraneni, R., Nadimpalli, S., & Ameli, A. (2018). Interlayer adhesion and fracture resistance of polymers printed through melt extrusion additive manufacturing process. *Materials & Design*, 156, 351–361. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.07.001>
- Alsoufi, M. S., Alhazmi, M. W., Suker, D. K., Yunus, M., & Malibari, R. O. (2019). From 3D models to FDM 3D prints: experimental study of chemical treatment to reduce stairs-stepping of semi-sphere profile. *AIMS Materials Science*, 6(6), 1086–1106. <https://doi.org/10.3934/matetsci.2019.6.1086>
- Ameko, E., Achio, S., Alhassan, S., Adasu, C., Dzagbletey, E. T., & Abbey, P. R. (2012). Plastination of Some Cow and Ram Organs in Ghana for Use as Teaching Aids. In *International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology* (Vol. 8, Issue 1). www.ijopaasat.in

- Andreu, A., Su, P.-C., Kim, J.-H., Ng, C. S., Kim, S., Kim, I., Lee, J., Noh, J., Subramanian, A. S., & Yoon, Y.-J. (2021). 4D printing materials for vat photopolymerization. *Additive Manufacturing*, *44*, 102024. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102024>
- Andrew, J. J., Alhashmi, H., Schiffer, A., Kumar, S., & Deshpande, V. S. (2021). Energy absorption and self-sensing performance of 3D printed CF/PEEK cellular composites. *Materials & Design*, *208*, 109863. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109863>
- Awasthi, P., & Banerjee, S. S. (2021). Fused deposition modeling of thermoplastic elastomeric materials: Challenges and opportunities. *Additive Manufacturing*, *46*, 102177. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102177>
- Aydin, S. O., Barut, O., Yilmaz, M. O., Sahin, B., Akyoldas, G., Akgun, M. Y., Baran, O., & Tanriover, N. (2023). Use of 3-Dimensional Modeling and Augmented/Virtual Reality Applications in Microsurgical Neuroanatomy Training. *Operative Neurosurgery*, *24*(3), 318–323. <https://doi.org/10.1227/ons.0000000000000524>
- Azer, S. A., & Azer, S. (2016). 3D Anatomy Models and Impact on Learning: A Review of the Quality of the Literature. *Health Professions Education*, *2*(2), 80–98. <https://doi.org/10.1016/j.hpe.2016.05.002>
- Bagheri, A., & Jin, J. (2019). Photopolymerization in 3D Printing. *ACS Applied Polymer Materials*, *1*(4), 593–611. <https://doi.org/10.1021/acsapm.8b00165>
- Berney, S., Bétrancourt, M., Molinari, G., & Hoyek, N. (2015). *How spatial abilities and dynamic visualizations inter play when learning functional anatomy with 3D anatomical models: Vol. 8* (5). Anat Sci Educ.
- Bilge, O., & Celik, S. (2017). Cadaver embalming fluid for surgical training courses: modified Larsen solution. *Surgical and Radiologic Anatomy*, *39*(11), 1263–1272. <https://doi.org/10.1007/s00276-017-1865-4>
- Bourell, D. L. (2016). Sintering in Laser Sintering. *JOM*, *68*(3), 885–889. <https://doi.org/10.1007/s11837-015-1780-2>
- Brenner, E. (2014). Human body preservation – old and new techniques. *Journal of Anatomy*, *224*(3), 316–344. <https://doi.org/10.1111/joa.12160>
- Burk, Z., & Johnson, C. (2019). Method For Production of 3D interactive Models Using Photogrammetry For Use in Human Anatomy Education. *HAPS Educator*, *23*(2), 457–463. <https://doi.org/10.21692/haps.2019.016>

- Burke, G., Devine, D. M., & Major, I. (2020). Effect of Stereolithography 3D Printing on the Properties of PEGDMA Hydrogels. *Polymers*, *12*(9), 2015. <https://doi.org/10.3390/polym12092015>
- Charoo, N. A., Barakh Ali, S. F., Mohamed, E. M., Kuttolamadom, M. A., Ozkan, T., Khan, M. A., & Rahman, Z. (2020). Selective laser sintering 3D printing – an overview of the technology and pharmaceutical applications. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, *46*(6), 869–877. <https://doi.org/10.1080/03639045.2020.1764027>
- Coleman, R., & Kogan, I. (1998). An improved low-formaldehyde embalming fluid to preserve cadavers for anatomy teaching. *Journal of Anatomy*, *192*(3), 443–446. <https://doi.org/10.1046/j.1469-7580.1998.19230443.x>
- De la Cruz Campos, J. C., Campos Soto, M. N., Rodríguez Jiménez, C., & Ramos Navas-Parejo, M. (2022). Impresión 3D en educación. Perspectiva teórica y experiencias en el aula. *Revista CENTRA de Ciencias Sociales*, *1*(1), 67–80. <https://doi.org/10.54790/rccs.16>
- de Oliveira, A. de S. B., Leonel, L. C. P. C., LaHood, E. R., Hallak, H., Link, M. J., Maleszewski, J. J., Pinheiro-Neto, C. D., Morris, J. M., & Peris-Celda, M. (2023). Foundations and guidelines for high-quality three-dimensional models using photogrammetry: A technical note on the future of neuroanatomy education. *Anatomical Sciences Education*, *16*(5), 870–883. <https://doi.org/10.1002/ase.2274>
- Dejong, K., & Henry, R. W. (2007). Silicone Plastination of Biological Tissue: Cold-temperature Technique Biodur© S10/S15 Technique and Products. *Journal of the International Society for Plastination*, *22*, 2–14. <https://doi.org/10.56507/ZLMJ7068>
- El-Omari, S., & Moselhi, O. (2008). Integrating 3D laser scanning and photogrammetry for progress measurement of construction work. *Automation in Construction*, *18*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.05.006>
- Ender, A., & Mehl, A. (2015). In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions. *Quintessence International (Berlin, Germany : 1985)*, *46*(1), 9–17. <https://doi.org/10.3290/j.qi.a32244>
- Espalin, D., Muse, D. W., MacDonald, E., & Wicker, R. B. (2014). 3D Printing multifunctionality: structures with electronics. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *72*(5–8), 963–978. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5717-7>
- Farhan, M., Wang, J. Z., Lillia, J., Cheng, T. L., & Burns, J. (2023). Comparison of multiple 3D scanners to capture foot, ankle, and lower leg morphology. *Prosthetics & Orthotics International*, *47*(6), 625–632. <https://doi.org/10.1097/PXR.0000000000000230>

- Garg, A. X., Norman, G., & Sperotable, L. (2001). How medical students learn spatial anatomy. *The Lancet*, 357(9253), 363–364. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)03649-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)03649-7)
- Garzon, S., Arias, A., & Garcia, D. (2020). A continuum constitutive model for FDM 3D printed thermoplastics. *Composites Part B: Engineering*, 201, 108373. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108373>
- Garzon, S., Garcia, D., Jérusalem, A., & Arias, A. (2020). Design of FDM 3D printed polymers: An experimental-modelling methodology for the prediction of mechanical properties. *Materials & Design*, 188, 108414. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108414>
- Gautam, R., Idapalapati, S., & Feih, S. (2018). Printing and characterisation of Kagome lattice structures by fused deposition modelling. *Materials & Design*, 137, 266–275. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.10.022>
- Goh, G. D., Agarwala, S., Goh, G. L., Dikshit, V., Sing, S. L., & Yeong, W. Y. (2017). Additive manufacturing in unmanned aerial vehicles (UAVs): Challenges and potential. *Aerospace Science and Technology*, 63, 140–151. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2016.12.019>
- Goh, G. D., Sing, S. L., & Yeong, W. Y. (2021). A review on machine learning in 3D printing: applications, potential, and challenges. *Artificial Intelligence Review*, 54(1), 63–94. <https://doi.org/10.1007/s10462-020-09876-9>
- Goyanes, A., Det-Amornrat, U., Wang, J., Basit, A. W., & Gaisford, S. (2016). 3D scanning and 3D printing as innovative technologies for fabricating personalized topical drug delivery systems. *Journal of Controlled Release*, 234, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.05.034>
- Habbal, O. (2009). The State of Human Anatomy Teaching in the Medical Schools of Gulf Cooperation Council Countries: Present and future perspectives. *Sultan Qaboos University Medical Journal*, 9(1), 24–31.
- Haizuka, Y., Nagase, M., Takashino, S., Kobayashi, Y., Fujikura, Y., & Matsumura, G. (2018). A new substitute for formalin: Application to embalming cadavers. *Clinical Anatomy*, 31(1), 90–98. <https://doi.org/10.1002/ca.23011>
- Hayashi, S., Homma, H., Naito, M., Oda, J., Nishiyama, T., Kawamoto, A., Kawata, S., Sato, N., Fukuhara, T., Taguchi, H., Mashiko, K., Azuhata, T., Ito, M., Kawai, K., Suzuki, T., Nishizawa, Y., Araki, J., Matsuno, N., Shirai, T., ... Itoh, M. (2014). Saturated Salt Solution Method. *Medicine*, 93(27), e196. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000000196>
- Hu, J. (2017). *STL-based slicing process for 3D printing*.

- Iwanaga, J., Loukas, M., Dumont, A. S., & Tubbs, R. S. (2021). A review of anatomy education during and after the <scp>COVID</scp> -19 pandemic: Revisiting traditional and modern methods to achieve future innovation. *Clinical Anatomy*, 34(1), 108–114. <https://doi.org/10.1002/ca.23655>
- Janczyk, P., Weigner, J., Luebke-Becker, A., Kaessmeyer, S., & Plendl, J. (2011). Nitrite pickling salt as an alternative to formaldehyde for embalming in veterinary anatomy—A study based on histo- and microbiological analyses. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*, 193(1), 71–75. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2010.08.003>
- Jang, T.-S., Jung, H.-D., Pan, H. M., Han, W. T., Chen, S., & Song, J. (2018). 3D printing of hydrogel composite systems: Recent advances in technology for tissue engineering. *International Journal of Bioprinting*, 4(1), 1–28. <https://doi.org/10.18063/ijb.v4i1.126>
- Jiménez, M., Romero, L., Domínguez, I. A., Espinosa, M. del M., & Domínguez, M. (2019). Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Printing Methods and Future Prospects. *Complexity*, 2019, 1–30. <https://doi.org/10.1155/2019/9656938>
- Kadobayashi, R., Kochi, N., Otani, H., & Furukawa, R. (2004). *COMPARISON AND EVALUATION OF LASER SCANNING AND PHOTOGRAMMETRY AND THEIR COMBINED USE FOR DIGITAL RECORDING OF CULTURAL HERITAGE*.
- Kafle, A., Luis, E., Silwal, R., Pan, H. M., Shrestha, P. L., & Bastola, A. K. (2021). 3D/4D Printing of Polymers: Fused Deposition Modelling (FDM), Selective Laser Sintering (SLS), and Stereolithography (SLA). *Polymers*, 13(18), 3101. <https://doi.org/10.3390/polym13183101>
- Katz, D., & Friess, M. (2014). *Technical Note: 3D From Standard Digital Photography of Human Crania—A Preliminary Assessment: Vols. 154(1):152-8*. *Am J Phys Anthropol*.
- Keenan, I. D., & ben Awadh, A. (2019). *Integrating 3D Visualisation Technologies in Undergraduate Anatomy Education* (pp. 39–53). https://doi.org/10.1007/978-3-030-06070-1_4
- Kharb, P., & Samanta, P. P. (2016). Blended learning approach for teaching and learning anatomy: Students' and teachers' perspective. *Journal of the Anatomical Society of India*, 65(1), 43–47. <https://doi.org/10.1016/j.jasi.2016.06.001>
- Khoo, Z. X., Teoh, J. E. M., Liu, Y., Chua, C. K., Yang, S., An, J., Leong, K. F., & Yeong, W. Y. (2015). 3D printing of smart materials: A review on recent progresses in 4D printing. *Virtual and Physical Prototyping*, 10(3), 103–122. <https://doi.org/10.1080/17452759.2015.1097054>
- Kirkwood, A., & Price, L. (2014). Technology-enhanced learning and teaching in higher education: what is 'enhanced' and how do we know? A critical literature review. *Learning, Media and Technology*, 39(1), 6–36. <https://doi.org/10.1080/17439884.2013.770404>

- Langlois, J., Wells, G., Lecourtois, M., Bergeron, G., Yetisir, E., & Martin, M. (2015). Spatial abilities of medical graduates and choice of residency programs. *Anat Sci Educ*, 8 (2), 111–119.
- Latorre, R. M., García-Sanz, M. P., Moreno, M., Hernández, F., Gil, F., López, O., Ayala, M. D., Ramírez, G., Vázquez, J. M., Arencibia, A., & Henry, R. W. (2007). How Useful Is Plastination in Learning Anatomy? *Journal of Veterinary Medical Education*, 34(2), 172–176. <https://doi.org/10.3138/jvme.34.2.172>
- Lesgold, A., Robinson, H., Feltovich, P., Glaser, R., Klopfer, D., & Wang, Y. (1988). *Expertise in a complex skill: diagnosing X-ray pictures* (M. Chi, R. Glaser, & M. Farr, Eds.). Lawrence Erlbaum.
- Lombardero, M., Yllera, M. M., Costa-e-Silva, A., Oliveira, M. J., & Ferreira, P. G. (2017). Saturated salt solution: a further step to a formaldehyde-free embalming method for veterinary gross anatomy. *Journal of Anatomy*, 231(2), 309–317. <https://doi.org/10.1111/joa.12634>
- Low, Z.-X., Chua, Y. T., Ray, B. M., Mattia, D., Metcalfe, I. S., & Patterson, D. A. (2017). Perspective on 3D printing of separation membranes and comparison to related unconventional fabrication techniques. *Journal of Membrane Science*, 523, 596–613. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2016.10.006>
- Martín-Montal, J., Pernas-Sánchez, J., & Varas, D. (2021). Experimental Characterization Framework for SLA Additive Manufacturing Materials. *Polymers*, 13(7), 1147. <https://doi.org/10.3390/polym13071147>
- Mashiko, T., Otani, K., Kawano, R., Konno, T., Kaneko, N., Ito, Y., & Watanabe, E. (2015). Development of Three-Dimensional Hollow Elastic Model for Cerebral Aneurysm Clipping Simulation Enabling Rapid and Low Cost Prototyping. *World Neurosurgery*, 83(3), 351–361. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2013.10.032>
- Massaro, R. D., Anderson, J. E., Nelson, J. D., & Edwards, J. D. (2014). A Comparative Study between Frequency-Modulated Continuous Wave LADAR and Linear LiDAR. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-1, 233–239. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-233-2014>
- Mazzanti, V., Malagutti, L., & Mollica, F. (2019). FDM 3D Printing of Polymers Containing Natural Fillers: A Review of their Mechanical Properties. *Polymers*, 11(7), 1094. <https://doi.org/10.3390/polym11071094>
- Melchels, F. P. W., Feijen, J., & Grijpma, D. W. (2010). A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering. *Biomaterials*, 31(24), 6121–6130. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2010.04.050>

- Menaka, R., & Chaurasia, S. (2015). UTILIZATION OF FORMALIN EMBALMED SPECIMENS UNDER ECO-FRIENDLY CONDITIONS BY ADVANCED PLASTINATION TECHNIQUE. *International Journal of Anatomy and Research*, 3(2), 1111–1113. <https://doi.org/10.16965/ijar.2015.167>
- Mendaza-Decal, R. M., & Rojo, C. (2021). 3D-printed model of the ovine stomach by surface scanning: Evaluation for teaching veterinary anatomy. *International Journal of Morphology*, 39(5), 1480–1486. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022021000501480>
- Mohamed, R., & John, R. (2018). Production and use of plastinated anatomical specimens as teaching and learning tools in veterinary gross anatomy in the Caribbean. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 5(1), 44–52. <https://doi.org/10.5455/javar.2018.e245>
- Muzaffar, A., Ahamed, M. B., Deshmukh, K., Kovářík, T., Křenek, T., & Pasha, S. K. K. (2019). *3D and 4D Printing of pH-Responsive and Functional Polymers and Their Composites*. ScienceDirect.
- Nam, S. M., Moon, J.-S., Yoon, H.-Y., Chang, B.-J., & Nahm, S.-S. (2020). Comparative evaluation of canine cadaver embalming methods for veterinary anatomy education. *Anatomical Science International*, 95(4), 498–507. <https://doi.org/10.1007/s12565-020-00547-x>
- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172–196. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>
- Okolie, O., Stachurek, I., Kandasubramanian, B., & Njuguna, J. (2020). 3D Printing for Hip Implant Applications: A Review. *Polymers*, 12(11), 2682. <https://doi.org/10.3390/polym12112682>
- Ozsoy, U., Sekerci, R., & Ogut, E. (2015). Effect of sitting, standing, and supine body positions on facial soft tissue: detailed 3D analysis. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 44(10), 1309–1316. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2015.06.005>
- Pagac, M., Hajnys, J., Ma, Q.-P., Jancar, L., Jansa, J., Stefek, P., & Mesicek, J. (2021). A Review of Vat Photopolymerization Technology: Materials, Applications, Challenges, and Future Trends of 3D Printing. *Polymers*, 13(4), 598. <https://doi.org/10.3390/polym13040598>
- Pandey, P., & Zimitat, C. (2007). Medical students' learning of anatomy: memorisation, understanding and visualisation. *Medical Education*, 41(1), 7–14. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02643.x>
- Park, M.-E., & Shin, S.-Y. (2018). Three-dimensional comparative study on the accuracy and reproducibility of dental casts fabricated by 3D printers. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 119(5), 861.e1-861.e7. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.08.020>

- Pérez, M., Carou, D., Rubio, E. M., & Teti, R. (2020). Current advances in additive manufacturing. *Procedia CIRP*, 88, 439–444. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.076>
- Raja, S. D., & Sultana, B. (2012). Potential Health Hazards for Students Exposed to Formaldehyde in the Gross Anatomy Laboratory. *Journal of Environmental Health*, 74(6), 36–41.
- Rebong, R. E., Stewart, K. T., Utreja, A., & Ghoneima, A. A. (2018). Accuracy of three-dimensional dental resin models created by fused deposition modeling, stereolithography, and Polyjet prototype technologies: A comparative study. *The Angle Orthodontist*, 88(3), 363–369. <https://doi.org/10.2319/071117-460.1>
- Roberts, A., Wales, J., Smith, H., Sampson, C. J., Jones, P., & James, M. (2016). A randomised controlled trial of laser scanning and casting for the construction of ankle-foot orthoses. *Prosthetics & Orthotics International*, 40(2), 253–261. <https://doi.org/10.1177/0309364614550263>
- Sajinkumar, K., & Oommen, T. (2018). *Photogrammetry. Encyclopedia of Engineering Geology*. Springer.
- Sargon, M. F., & Tatar, İ. (2014). Plastination: basic principles and methodology. *Anatomy*, 8, 12–18. <https://doi.org/10.2399/ana.14.040>
- Senthilkumaran, K., Pandey, P. M., & Rao, P. V. M. (2009). Influence of building strategies on the accuracy of parts in selective laser sintering. *Materials & Design*, 30(8), 2946–2954. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.01.009>
- Shahrubudin, N., Lee, T. C., & Ramlan, R. (2019). An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications. *Procedia Manufacturing*, 35, 1286–1296. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>
- Shaqour, B., Abuabiah, M., Abdel-Fattah, S., Juaidi, A., Abdallah, R., Abuzaina, W., Qarout, M., Verleije, B., & Cos, P. (2021). Gaining a better understanding of the extrusion process in fused filament fabrication 3D printing: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 114(5–6), 1279–1291. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06918-6>
- Simha Martynková, G., Slíva, A., Kratošová, G., Čech Barabaszová, K., Študentová, S., Klusák, J., Brožová, S., Dokoupil, T., & Holešová, S. (2021). Polyamide 12 Materials Study of Morpho-Structural Changes during Laser Sintering of 3D Printing. *Polymers*, 13(5), 810. <https://doi.org/10.3390/polym13050810>
- Sing, S. L., An, J., Yeong, W. Y., & Wiria, F. E. (2016). Laser and electron-beam powder-bed additive manufacturing of metallic implants: A review on processes, materials and designs. *Journal of Orthopaedic Research*, 34(3), 369–385. <https://doi.org/10.1002/jor.23075>

- Sora, M., Latorre, R., Baptista, C., & López-Albors, O. (2019). Plastination—A scientific method for teaching and research. *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 48(6), 526–531. <https://doi.org/10.1111/ahe.12493>
- Stansbury, J. W., & Idacavage, M. J. (2016). 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities. *Dental Materials*, 32(1), 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.09.018>
- Steffens, K. (2006). Self-Regulated Learning in Technology-Enhanced Learning Environments: lessons of a European peer review. *European Journal of Education*, 41(3–4), 353–379. <https://doi.org/10.1111/j.1465-3435.2006.00271.x>
- Stoia, D. I., Linul, E., & Marsavina, L. (2019). Influence of Manufacturing Parameters on Mechanical Properties of Porous Materials by Selective Laser Sintering. *Materials*, 12(6), 871. <https://doi.org/10.3390/ma12060871>
- Tamayo, L., & Garzón, A. (2018). Preservation of Animal Cadavers with a Formaldehyde-free Solution for Gross Anatomy. *Journal of Morphological Sciences*, 35(02), 136–141. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1669434>
- Tareq, Md. S., Rahman, T., Hossain, M., & Dorrington, P. (2021). Additive manufacturing and the COVID-19 challenges: An in-depth study. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 787–798. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.12.021>
- Trandzhiev, M., Vezirska, D. I., Maslarski, I., Milev, M. D., Laleva, L., Nakov, V., Cornelius, J. F., & Spiriev, T. (2023). Photogrammetry Applied to Neurosurgery: A Literature Review. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.46251>
- Turan, E., Gules, O., Kilimci, F. S., Kara, M. E., Dilek, O. G., Sabanci, S. S., & Tatar, M. (2017). The mixture of liquid foam soap, ethanol and citric acid as a new fixative–preservative solution in veterinary anatomy. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*, 209, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2016.09.002>
- Vandenberg, S., & Kuse, A. (1978). *Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization: Vol. 47(2)*. Percept Mot Skills.
- Van Vlasselaer, N., Keelson, B., Scafoglieri, A., & Cattrysse, E. (2024). Exploring reliable photogrammetry techniques for 3D modeling in anatomical research and education. *Anatomical Sciences Education*, 17(3), 674–682. <https://doi.org/10.1002/ase.2391>
- Vedi, N., Dulloo, P., & Singh, P. (2022). Digital technology for facilitating inquiry-based learning during the COVID pandemic for human anatomy course. *Journal of Education and Health Promotion*, 11(1), 344. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_38_22

- Wan Hassan, W. N., Yusoff, Y., & Mardi, N. A. (2017). Comparison of reconstructed rapid prototyping models produced by 3-dimensional printing and conventional stone models with different degrees of crowding. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *151*(1), 209–218. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2016.08.019>
- Wang, X., Jiang, M., Zhou, Z., Gou, J., & Hui, D. (2017). 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering*, *110*, 442–458. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.11.034>
- Wantke, F., Focke, M., Hemmer, W., Bracun, R., Wolf-Abdolvahab, S., Götz, M., Jarisch, R., Götz, M., Tschabitscher, M., Gann, M., & Tappler, P. (2000). Exposure to formaldehyde and phenol during an anatomy dissecting course: sensitizing potency of formaldehyde in medical students. *Allergy*, *55*(1), 84–87. <https://doi.org/10.1034/j.1398-9995.2000.00307.x>
- Wickramasinghe, S., Do, T., & Tran, P. (2020). FDM-Based 3D Printing of Polymer and Associated Composite: A Review on Mechanical Properties, Defects and Treatments. *Polymers*, *12*(7), 1529. <https://doi.org/10.3390/polym12071529>
- Wong, K. V., & Hernandez, A. (2012). A Review of Additive Manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering*, *2012*, 1–10. <https://doi.org/10.5402/2012/208760>
- Wudy, K., Lanzl, L., & Drummer, D. (2016). Selective Laser Sintering of Filled Polymer Systems: Bulk Properties and Laser Beam Material Interaction. *Physics Procedia*, *83*, 991–1002. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2016.08.104>
- Xicoténcatl, R., Cauzor, G., Elia, M., Rodríguez Chávez, M., Barajas Martínez, M. A., Yadira, M., Olmos, O., Raúl, M., & León, D. (2022). *TÉCNICAS PARA LA PREPARACIÓN Y PRESERVACIÓN DE PIEZAS ANATÓMICAS Y CADÁVERES COMPLETOS*. <http://www.cusur.udg.mx/es/>
- Zanjanijam, A. R., Major, I., Lyons, J. G., Lafont, U., & Devine, D. M. (2020). Fused Filament Fabrication of PEEK: A Review of Process-Structure-Property Relationships. *Polymers*, *12*(8), 1665. <https://doi.org/10.3390/polym12081665>
- Zhu, C., Li, T., Mohideen, M. M., Hu, P., Gupta, R., Ramakrishna, S., & Liu, Y. (2021). Realization of Circular Economy of 3D Printed Plastics: A Review. *Polymers*, *13*(5), 744. <https://doi.org/10.3390/polym13050744>