

Impacto de la impresión 3D en el aprendizaje de estudiantes de medicina: una revisión sistemática.

Impact of 3D printing on the learning of medical students: A systematic review.

Mario Zelada-Espejo^{1*}, Francis Segura-Beltrán², Fabrizzio Margas-Cavieres³ Marcos Rojas-Pino⁴

¹ Programa de Ayudantes Docentes, Centro de Enseñanza y Aprendizaje, Estudiante de la Facultad de Medicina, Universidad de Chile; mariozelada@ug.uchile.cl, ORCID ID <https://orcid.org/0009-0004-4273-0375>

² Programa de Ayudantes Docentes, Centro de Enseñanza y Aprendizaje, Estudiante de la Facultad de Medicina, Universidad de Chile; francissegura@ug.uchile.cl, ORCID ID <https://orcid.org/0009-0004-2014-9707>

³ Programa de Ayudantes Docentes, Centro de Enseñanza y Aprendizaje, Estudiante de la Facultad de Medicina, Universidad de Chile; fabrizziomargas@ug.uchile.cl, ORCID ID <https://orcid.org/0009-0002-1386-1152>

⁴ Graduate School of Education, Stanford University; marcosrp@stanford.edu, ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-6352-4547>

* Correspondencia: mariozelada@ug.uchile.cl

Recibido: 21/8/2024; Aceptado: 19/9/2024; Publicado: 23/9/2024

Resumen: El uso de la impresión 3D se ha difundido en diversas áreas, incluyendo la enseñanza de la medicina, desde su apoyo para el estudio de anatomía humana hasta en el entrenamiento de técnicas quirúrgicas dado los beneficios del aprendizaje por “Hands-On-Learning”. El objetivo de la presente investigación es esclarecer el impacto de la impresión 3D sobre el aprendizaje de estudiantes de medicina, así como determinar en qué áreas de su currículum ha sido implementada. Para ello, se realizó una revisión sistemática de la literatura disponible. Las bases de datos usadas fueron PubMed, CINAHL, PsycINFO, ERIC, Web of Science y SCOPUS, usando los siguientes 4 conceptos: “3D Printing” AND “Medical Education” AND “Outcome of Education” AND “Higher Education”. Se consideraron publicaciones en inglés y español. Se identificaron 3.326 estudios hasta Octubre 2023 (705 duplicados). Mediante el protocolo PRISMA 2020 y el software COVIDENCE, cuatro autores revisaron los resultados y seleccionaron aquellos acordes a criterios de inclusión y exclusión. 2561 estudios fueron excluidos, identificándose 60 estudios para lectura de texto completo. De estos, 34 cumplieron criterios de inclusión propuestos, siendo finalmente revisados y sintetizados por los autores. Entre los hallazgos, se destaca una tendencia a investigar el rol educativo de la impresión 3D en áreas de anatomía, diversas patologías, radiología y simulación. Al comparar la impresión 3D con modelos 2D se evidenció mejores puntuaciones post-intervención del grupo 3D. En cuanto a modelos cadavéricos, nuevamente la impresión 3D muestra mejores resultados en aprendizaje anatómico, aunque también hubo estudios que no evidenciaron diferencias significativas, sin embargo, ninguno reportó inferioridad de la impresión 3D como herramienta didáctica. Por último, se encontró un número limitado de estudios sobre su impacto en el aprendizaje a largo plazo. La Impresión 3D evidencia tener un impacto positivo en el aprendizaje en diversas áreas de la formación médica.

Palabras clave: Impresión 3D; Educación Médica; Resultados de Educación; Educación Superior.

Abstract: The use of 3D printing has spread throughout a multitude of fields, including medical education, being used from human anatomy teaching to surgical technique training due to the benefits of “Hands-on learning.” The objective of this study was to clarify the impact of 3D printing on medical student education, as well as to determine in which areas of their curriculum

it has been implemented. For this purpose, we conducted a systematic review of the literature. We used the following databases: PubMed, CINAHL, PsycINFO, ERIC, Web of Science, and SCOPUS, using the following four concepts: "3D Printing" AND "Medical Education" AND "Outcome of Education" AND "Higher Education." Publications in English and Spanish were considered. A total of 3,326 studies were identified up to October 2023 (705 duplicates). Using the PRISMA 2020 protocol and the software COVIDENCE, four authors reviewed the results and selected those meeting the proposed inclusion and exclusion criteria. 2561 studies were excluded, identifying 60 studies for full-text reading. Of these, 34 met the inclusion criteria, which were finally reviewed and synthesized by the authors. Our results show a tendency to study the educational role of 3D Printing in the areas of anatomy, various pathologies, radiology, and simulation. When comparing 3D printing with 2D models, there was evidence of better post-intervention scores within 3D groups. As for cadaveric models, 3D printing showed better results in anatomy teaching. However, some studies did not show significant differences; however, none reported inferiority of 3D printing as a teaching tool. Finally, a limited number of studies have been conducted on its impact on long-term learning. Overall, there is evidence that the introduction of 3D printing in various areas of medical education has a positive impact on learning.

Keywords: 3D Printing; Medical Education; Outcome of Education; Higher Education.

1. Introducción

La Impresión 3D (I3D) es una tecnología novel, cuya difusión ha crecido exponencialmente en los últimos años (1). Esta herramienta consiste en la conversión de un modelo digital tridimensional en uno físico por medio de un proceso de fabricación en capas (2). Su uso ha sido difundido en distintas áreas, desde la industria aeroespacial, la odontología y la medicina (3), dada su veloz capacidad de producción de modelos con un alto nivel de detalle y precisión, así como permitiendo la personalización de sus cualidades según las necesidades de sus usuarios (1). Dentro de las ciencias médicas su empleo ha sido variado, abarcando desde la planificación preoperatoria (3) hasta la educación médica, dentro de esta última destacándose su empleo en áreas tales como la enseñanza de anatomía (4), radiología (5), pediatría (6), así como en el entrenamiento de técnicas quirúrgicas (7).

La principal ventaja de la I3D yace en el feedback háptico que ofrece la manipulación de modelos tridimensionales (3), estimulando el aprendizaje por "Hands-On-Learning". Este es un enfoque de enseñanza que se caracteriza por emplear el cuerpo y los sentidos del estudiante en el proceso del aprendizaje, dando uso a su inteligencia perceptual con tal de dar un sentido tangible a conceptos simbólicos o abstractos (8). Por ejemplo, dentro de la medicina la relevancia de este método de enseñanza se evidencia en cursos de anatomía, donde a la hora de estudiar regiones de alta complejidad espacial las modalidades de enseñanza tradicional, como libros de texto en dos dimensiones (2D) o ilustraciones cadavéricas, pueden no bastar para comprenderlas en su plenitud (2). Dado lo anterior, la anatomía ha empleado la disección como una piedra angular dentro de su enseñanza, posteriormente incorporándose el uso de preparados plastinados (7). Pese a ello, su limitada disponibilidad, elevado costo y riesgo biológico subyacente ha llevado a que la I3D empezara a ser más usada en esta área, siendo propuesta por algunos autores como una alternativa válida para su enseñanza (3).

Acorde a una reciente revisión por Brumpt et al., el empleo de la I3D como una herramienta pedagógica es altamente efectiva en cuanto a logros de aprendizaje así como satisfacción de los estudiantes, con mejores resultados si es incorporada tempranamente dentro de la formación médica (4). Esto resulta de interés, puesto que gran parte de la literatura disponible se centra en el empleo de la I3D dentro de programas de formación de residentes de especialidades médicas, predominantemente quirúrgicas. A su vez, como se ejemplificó anteriormente, la gran concentración de su uso en estudiantes de medicina (EM) se ha centrado en cursos de anatomía, por lo que vale la pena indagar otras áreas en que esta tecnología pudiese resultar provechosa.

El objetivo de la siguiente investigación es esclarecer cuál es el impacto de la I3D sobre el aprendizaje de EM, así como determinar en qué áreas de su currículum ha sido implementada. Para ello, se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura disponible.

2. Métodos

La presente revisión fue llevada a cabo en Octubre 2023. No requirió aprobación por comité de ética, dado a que corresponde a una revisión sistemática de la literatura publicada. Con tal de asegurar la calidad de los artículos, estos fueron seleccionados exclusivamente de revistas científicas que requieran revisión de pares halladas en bases de datos indexadas. Para la realización de esta revisión sistemática se emplearon como directrices las guías PRISMA 2020 (9). El protocolo de esta revisión fue publicado en la plataforma Prospero previo a la obtención de los artículos. (crd.york.ac.uk/prospero/display_record.php?RecordID=473723).

Se definieron como palabras claves a emplearse en la búsqueda “3D Printing” AND “Medical Education” AND “Outcome of Education” AND “Higher Education”, cuyos conceptos fueron expandidos a través del empleo del tesoro de ERIC y MESH (Medical Subject Headings). La estrategia de búsqueda se especifica en la Tabla 1. La estrategia fue implementada en las bases de datos definidas para esta revisión sistemática: PubMed, CINAHL, PsycINFO, ERIC, Web of Science, SCOPUS.

La búsqueda fue realizada el día 25 de Octubre de 2023. Los resultados obtenidos de todas las bases de datos fueron exportados y procesados en el software COVIDENCE con tal de facilitar la revisión de las publicaciones obtenidas. En una primera etapa se eliminaron los artículos duplicados, para posteriormente distribuirse al azar el total de publicaciones entre los autores MZ, FS, FM. Posteriormente, se llevó a cabo un screening de título y abstract aplicando los criterios de inclusión y exclusión definidos para esta investigación (Tabla 2). Las discrepancias fueron resueltas por el autor MR. Los artículos seleccionados en esta etapa avanzaron a la etapa de revisión de texto completo. De manera similar, a través de COVIDENCE se distribuyeron los estudios resultantes entre los mismos autores para efectuar su lectura completa, nuevamente atribuyéndose al autor MR el rol de resolutor de conflictos. Posteriormente, se efectuó Snowballing de las revisiones bibliográficas y los metaanálisis que cumplieron con los criterios de inclusión hasta esta etapa. De estos estudios se extrajo los estudios empleados en su elaboración con tal de incluirlos dentro de la presente revisión, siendo exportados a COVIDENCE para ser

sometidos al mismo proceso de revisión anteriormente descrito. Finalmente, a través de COVIDENCE se llevó a cabo la fase de extracción de información de los artículos incluidos. Para esto, se elaboró una tabla incorporando la siguiente información: nombre del artículo, nombre del autor principal, revista, año y país de publicación, principal propósito del estudio, razonamiento, diseño, herramienta evaluativa empleada, muestra (población/tamaño), métodos de recolección de información, métodos de evaluación, técnicas de análisis de datos, resultados, fortalezas y limitaciones. A la vez, a medida que se efectuó la sistematización de la información, se aseguró que los hallazgos obtenidos fuesen de significancia según su técnica de análisis de datos estadísticos, con tal de asegurar su confiabilidad y validez.

Tabla 1. Estrategia de búsqueda: Identificación y expansión de conceptos.

Búsquedas	Estrategia de Búsqueda
Búsqueda 1: Expansión del concepto <i>3D printing</i>	De Thesaurus o MeSH: Three-Dimensional Printing* OR 3-Dimensional Printing* OR 3-D Printing* OR 3 D Printing* OR Three-Dimensional Printing OR Three Dimensional Printing OR 3D Printing* Búsqueda Libre: Additive manufacturing
Búsqueda 2: Expansión del concepto <i>Medical Education</i>	De Thesaurus o MeSH: Medical Education OR Clinical Experience OR Clinical Teaching OR Medical School Faculty OR Medical School* OR Medical Student* OR Medicine OR Premedical Student* OR Medical Education OR Undergraduate Medical Education Búsqueda Libre: None
Búsqueda 3: Expansión del concepto de <i>Outcome of Education</i>	De Thesaurus o MeSH: Outcome* of Education OR Instructional Effectiveness OR Success Búsqueda Libre: Impact on learning OR Impact on education OR impact
Búsqueda 4: Expansión del concepto de <i>Higher Education</i>	De Thesaurus o MeSH: Higher Education OR Postsecondary Education OR Undergraduate Stud* OR Universit* Búsqueda Libre: Tertiary education
Búsqueda 5: Combinación de búsquedas de 1 a 4	Búsqueda 1 AND Búsqueda 2 AND Búsqueda 3 AND Búsqueda 4

Tabla 2. Criterios de Inclusión y Exclusión

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
Estudios empíricos, artículos de revisión y publicaciones que respecta el impacto de aprender cualquier forma de impresión 3D.	Estudios no-empíricos o estudios secundarios, tales como editoriales, comentarios y libros.
Estudios que reportan investigación en estudiantes de	Estudios en poblaciones que no sean

medicina.	estudiantes de medicina, tales como residentes u otras profesiones de la salud.
Estudios disponibles en Español o Inglés.	Estudios publicados en otros idiomas además de Español o Inglés.

3. Resultados.

Se identificaron un total de 3.326 estudios hasta Octubre 2023, de los cuales se eliminaron 705 duplicados. Se destaca que a la hora de realizar Snowballing, tres de las publicaciones de revistas/metaanálisis no fueron encontradas en ninguna de las bases de datos empleadas. Tras efectuar screening de título y abstract, 2561 estudios fueron excluidos, identificándose 60 estudios para lectura de texto completo. De estos, 34 cumplieron criterios de inclusión propuestos, incluyéndose dentro de este total las 6 revisiones sobre las cuales se efectuó Snowballing, así como los 8 nuevos estudios resultantes de dicho proceso. Los principales motivos de exclusión de publicaciones fueron: No evalúa aprendizaje de ningún tipo, se centra en la percepción subjetiva de aprendizaje de parte de los estudiantes, incorpora variables que alteran la capacidad de comparar sus resultados, no incorpora estudiantes de medicina o aquellos con metodología no empírica. La figura 1 muestra el diagrama PRISMA de esta revisión.

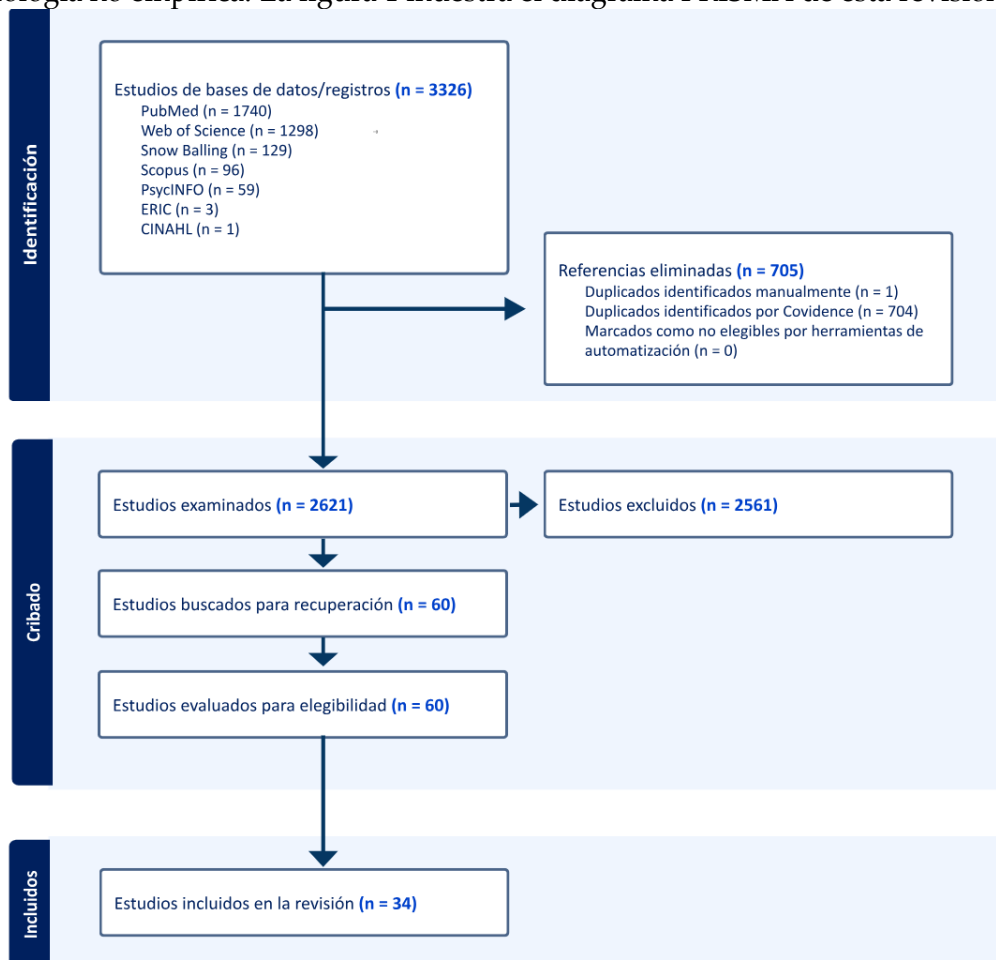


Figura 1. Diagrama de Flujo del Proceso de Búsqueda y Selección de Estudios.

3.1 Características de los Estudios

Los estudios seleccionados se publicaron entre 2015 y 2023, siendo más frecuentemente provenientes de China, seguida por Estados Unidos, con enfoque principal el estudio del uso de modelos 3D impresos como herramienta de aprendizaje en comparación con los métodos tradicionales. Las metodologías usadas fueron cualitativas y cuantitativas, siendo esta última la más frecuente. El tipo de evaluaciones que se describen incluyen los cuestionarios de selección múltiple o respuestas abiertas y, en ocasiones, cuestionarios de percepción personal sobre la experiencia. El diseño más frecuentemente descrito en los estudios fue la realización de una evaluación previa a la intervención para evaluar los conocimientos basales de los estudiantes, seguidos por una clase teórica para luego separar al grupo en quienes continuaban con la metodología tradicional y quienes se exponían a modelos impresos 3D, finalizando con un cuestionario común inmediato para evaluar lo aprendido. Algunos diseños incluyen segundas evaluaciones de hasta 6 semanas posteriores a la intervención para determinar la retención de aprendizaje a largo plazo. Los estudios incluidos, así como sus diferentes características, se presentan en la Tabla 3.

3.2 Áreas de empleo de la I3D descritas en la literatura

Dentro de las publicaciones incluidas se destaca una clara tendencia a investigar el rol educativo de la I3D dentro de cursos de anatomía, siendo implementada para la enseñanza de estructuras anatómicas de relevancia tales como: Anatomía cardíaca (10,11), segmentos hepáticos (12), anatomía segmentaria bronquial (5) y anatomía de cráneo (13,14). Asimismo, su uso también fue preferido para facilitar la enseñanza de estructuras caracterizadas por una elevada complejidad tridimensional, como la fosa pterigopalatina (15), el sistema ventricular (16) y el tronco gastrocólico (17).

Por otro lado, la literatura disponible también ha demostrado un significativo interés en la incorporación de esta tecnología en la enseñanza de ciertas patologías, notablemente aquellas con una evidente alteración anatómica que pudiese ser plasmada en un modelo de I3D. Se destaca su uso en fracturas (vertebral (18), pélvica (19), ósea (20)) así como tumores (cáncer de próstata (21), óseos (22)) y patología cardíaca (malformaciones congénitas (23–25) y enfermedad valvular (26)).

A su vez, los modelos de I3D también han sido implementados para la enseñanza de radiología, como se demostró en el estudio de O'Brien C, et al. donde se empleó un modelo I3D del árbol traqueobronquial para facilitar el aprendizaje de la visualización de sus ramas en TC multiparamétrica (5).

Por último, la I3D también ha sido descrita como una herramienta para crear simuladores didácticos, por ejemplo, para la realización de una oftalmoscopia (27). En la Tabla 4 se adjunta un resumen de las áreas de empleo de la I3D.

Tabla 3. Resumen de Estudios Incluidos

Ref #	Propósito del Estudio	Razonamiento	Diseño	Métodos de Evaluación	Resultados	Fortalezas	Limitaciones
12	Comparar efectividad en aprendizaje de modelo I3D, V3D con atlas 2D de segmento hepático.	Los segmentos hepáticos son difíciles de aprender. Material 2D es insuficiente para ello.	Randomizado o controlado prospectivo	Clase introductoria; estudio por grupos (I3D, V3D, 2D); aplicación de primer cuestionario ; aplicación de segundo cuestionario 5 días después	I3D y V3D no mostraron diferencias significativas entre ellos a corto o mediano plazo, pero siempre objetivaron mejores resultados que 2D.	Modelos de alta fidelidad y realismo Evaluó retención de conocimientos	Bajo nº de participantes Sin información demográfica No especifica pruebas utilizadas No evita intercambio de información entre estudiantes en lapso de 5 días
30	Retención a largo plazo de conocimiento empleando I3D de craneosinostosis vs ilustración 2D	Patología craneofacial caracterizada por su complejidad, beneficiándose de modelos 3D.	Randomizado o controlado	Clase teórica dividida en grupos (I3D, 2D). Pre-evaluación de familiaridad con I3D/V3D. Evaluación 21 días después (COM)	I3D mejora significativamente retención a largo plazo por sobre 2D	Evalúa familiaridad previa de EM con I3D y V3D e inteligencia espacial Adecuado N° de participantes Estandarización de clases efectuadas Evita paso de información entre estudiantes	Pre-evaluación no considera conocimientos bases de EM EM sabían con anterioridad de la intervención y el grupo en que participarán
29	Investigar el valor educativo de I3D en patología craneofacial.	Cirugía plástica requiere manipulación física para su aprendizaje	Randomizado o controlado prospectivo	Evaluación pre-intervención; sesión de estudio por grupos (I3D, control); evaluación post-intervención	Grupo de I3D presentó mayores puntuaciones en evaluación post-intervención que control, pero sin significancia estadística.	Evaluación pre y post intervención. Considera información demográfica. Excluye EM con conocimientos previos del área	El grupo de I3D recibió una doble intervención (Presentación 2D + I3D), mientras que controles sólo presentación 2D. Bajo N° de participantes

22	Determinar la factibilidad de incorporar I3D en patología ósea.	El uso de I3D para enseñar patología es un área aún no explorada.	Randomizado o Controlado	COM pre-evaluación; sesión educativa pre-grabada de tumores óseos asistida de imágenes 2D (Control) o I3D (intervención); COM post-evaluación	Ambos grupos mejoraron puntuaciones en la segunda evaluación.	No emplea herramientas estadísticas.	Bajo Nº de participantes; Dificultades técnicas descritas durante actividad; Se empleó el mismo COM pre y post intervención; No evalúa retención a largo plazo.
15	Evaluar el impacto del uso de I3D en la comprensión anatómica de la fosa pterigopalatina.	El espacio reducido y la poca accesibilidad hacen a la fosa pterigopalatina una estructura difícil de comprender.	Randomizado o controlado.	Pre-evaluación: se entrega una guía de auto- junto a imágenes de un atlas de anatomía. Posteriormente se divide a la muestra en 2 grupos, un grupo recibió una cráneo seccionado y el otro grupo recibió el modelo 3D de un cráneo.	El grupo intervenido tuvo mejores resultados en la evaluación post intervención en comparación con el grupo control.	Multicéntrico. Tuvo en consideración la demografía de los estudiantes Muestra suficiente para realizar análisis entre ambos grupos.	Incorpora estudiantes de otras carreras; heterogeneidad muestral. Estructuras 3D demasiado simplificadas. Posible sesgo de selección (participación voluntaria). No se evalúa el aprendizaje a largo plazo.
21	Capacidad de identificar localización de cáncer de próstata con I3D en comparación a otras modalidades tradicionales.	La precisión de localización del cáncer de próstata es dificultoso, pudiendo apoyarse por una serie de medidas incluyendo I3D.	Observacional Transversal	Exposición de cada grupo a un tipo de intervención (I3D, RNM, presentación RNM); identificación del tumor en diagrama.	El desempeño de EM fue peor en las presentaciones de RNM. Su tasa de errores fue 1.7x mayor en I3D que en informes de RNM, pero esto no impactó significativamente las puntuaciones de I3D (-2.3%). I3D tuvo puntajes mayores que la presentación de RNM.	El diagrama propuesto permite cuantificar la magnitud de error cometido. El estudio compara I3D con otros recursos de frecuente uso en enseñanza de urología (RNM).	No considera retención a largo plazo. La validación del diagrama evaluativo fue hecho con datos extraídos de la misma investigación. Limitado Nº participantes
19	Elucidar el rol de I3D en entendimiento de fracturas	El diagnóstico y clasificación de fracturas pélvicas es dificultoso en EM	Randomizado o controlado prospectivo	Clase teórica de anatomía pélvica, tipos y mecanismos de fracturas; división en	Mejoría significativa en clasificación correcta según Young-Burgess, en inferencia de mecanismo	Considera características demográficas. Muestra homogénea.	No evalúa conocimientos de base. No evalúa retención a largo plazo.

	pélicas.	dada su complejidad tridimensional.		grupo I3D y control (imagenología tradicional); Evaluación post-intervención.	de fractura y velocidad de respuesta evaluativa con I3D.		
16	Evaluar la efectividad del uso de I3D en la enseñanza del sistema ventricular.	Para los estudiantes es difícil entender la anatomía de los ventrículos y sus relaciones estudiando de los atlas clásicos.	Randomizado o controlado prospectivo.	Test pre intervención. Se formaron 3 grupos: imágenes 2D, imágenes 3D e I3D. Todos introducción de 20 minutos del tema, luego 5 minutos para explicar a cada grupo su modalidad de aprendizaje y luego 20 minutos para interactuar con su método. Se finalizó con un test post intervención.	El porcentaje de cambio pre y post test fue estadísticamente significativo en los 3 grupos. Los grupos que utilizaron imágenes 3D e I3D rindieron mejor que el grupo de imágenes 2D en las preguntas prácticas y en el puntaje total post intervención.	Evaluación pre y post intervención. Expertos evaluaron el realismo de las I3D y de los modelos 3D.	La muestra fue relativamente pequeña. El estudio no incluyó tejido cerebral como ayuda de enseñanza.
33	Determinar impacto en aprendizaje anatómico de un simulador dinámico de la articulación de la rodilla	La enseñanza tradicional de anatomía, fomenta más aprendizaje por memorización que entendimiento.	Randomizado o controlado prospectivo	Sesión didáctica de anatomía funcional de rodilla; división en grupos (I3D y enseñanza tradicional con esqueleto); COM post-evaluación.	Mejores puntuaciones en grupo de I3D. El género de los EM no impactó los resultados.	Se consideró el nivel de conocimiento (1º año medicina) al hacer la evaluación (restringido al nivel 3 de taxonomía de Bloom) Considera información demográfica	El simulador solo tenía material óseo. Pequeño N° de participantes No considera retención a largo plazo
23	Evaluar el impacto de I3D de MCC en entendimiento estructural y fisiopatología.	Las MCC son complejas de enseñar, y las modalidades disponibles son insuficientes para	Randomizado o controlado	Seminarios de enseñanza tradicional de MCC, aportándose al grupo intervenido modelos I3D; COM post-intervención	El grupo intervenido por I3D presentó mejores resultados, especialmente en conceptualización estructural. Características	Considera información demográfica	No emplea una pre-evaluación para medir conocimientos base. N° de participantes reducido No considera retención a largo plazo

		su conceptualización.			demográficas de la muestra no impactaron resultados.		
14	Determinar el impacto en aprendizaje de modelos de I3D de huesos del cráneo.	Los cráneos humanos tienden a disponerse solo para visualización externa, imposibilitando el aprendizaje de sus componentes individuales, cuyo estudio es complejo.	Randomizado o controlado prospectivo	Evaluación pre-intervención; Clase teórica y división en grupos (I3D y cráneo real); evaluación post-intervención.	Resultados de evaluación pre y post-intervención sin diferencias significativas. Al comparar la diferencia de puntuación entre pre y post intervención, el grupo I3D tuvo una mejoría más marcada.	Evaluación pre y post intervención Adecuado N° de participantes El estudio evalúa aprendizaje a mediano plazo (mayoría de estudios solo corto o largo plazo) Considera características demográficas	No se establecieron medidas para evitar que los estudiantes compartieran información entre ellos.
28	Determinar el impacto de la I3D en la enseñanza de anatomía	En los últimos años la calidad de enseñanza de anatomía ha decaído, requiriéndose nuevas herramientas para compensar aquello.	Randomizado o Controlado	Evaluación pre-intervención; Clase teórica de anatomía pulmonar; División en grupo I3D y control (enseñanza 2D tradicional); Evaluación post-intervención.	Sin diferencias significativas en pre-evaluación. Resultados de I3D fueron superiores en post-evaluación.	Incorpora pre-evaluación Adecuado N° de participantes	La falta de disponibilidad de contraste intravascular para el modelo cadavérico para destacar estas estructuras pone en desventaja al grupo control.
31	Evaluar efectividad de I3D en educación médica de labio leporino y hendidura palatina sobre técnicas tradicionales.	Campo de I3D con gran potencial de desarrollo, especialmente en docencia de salud y dentro de hospitales.	Randomizado o controlado.	Evaluación pre-intervención; presentación teórica del tema; división de estudiantes en grupo (Modelo I3D, control 2D); Aplicación de evaluación post-intervención	Pre evaluación sin diferencias entre grupos o universidades. Grupo I3D presentó incrementos de conocimiento (respecto a evaluación pre-intervención) significativamente mayores que grupo 2D.	Considera características demográficas Diversidad de participantes al incorporar estudiantes de dos centros.	Reducido N° de participantes No evalúa retención de conocimientos

26	Evaluar si modelos I3D son superiores a modelos cardíacos habituales para educación médica	Estudios previos han evaluado el uso de I3D en enfermedad cardíaca, pero no hay estudios randomizados con un modelo cardíaco disponibles	Randomizado o controlado	Distribución en grupo a) Modelo I3D b) modelo cardíaco tradicional; sesión de enfermedad valvular; evaluación post-intervención	Estudiantes del grupo I3D respondieron COM con mayor velocidad, pero no hubo una diferencia significativa entre los puntajes	Considera características demográficas	Modelo tradicional permitía mejor distinción de válvulas cardíacas Pequeño tamaño muestral No evalúa conocimientos base de estudiantes
27	Diseñar modelo ocular que simule el fundus para enseñar oftalmoscopia	Estudiantes presentan dificultades al aprender al utilizar instrumentos oftalmoscópicos en cortos períodos de tiempo	Randomizado o controlado	Exposición teórica; División en grupo A (modelo I3D y examinación entre pares) y grupo B (examinación entre pares)	Grupo A logró una visualización exitosa del fondo 93.4%; grupo B de 45.65%. Se evidenció una mayor velocidad de visualización en el grupo A.	Considera información demográfica. Incorpora tiempo de reacción como variable. El modelo I3D logra adecuado realismo. Adecuado número de participantes.	Escasa diversidad poblacional. Los estudiantes sabían con anticipación el grupo asignado. Precisión de I3D adecuada para visualizar fondo y texto, pero no para fotos de fondo.
18	Investigar el impacto de I3D en la identificación de fractura vertebral y diferencias entre géneros en su aplicación	El a vértebras humanas es escaso, por lo que se deben buscar otros métodos para enseñar sus fracturas	Randomizado o controlado	División de estudiantes en grupo I3D, imagen 3D y TC; Sesión educativa con respectivas intervenciones; Evaluación Post-Intervención	Estudiantes en grupo I3D y 3D presentaron resultados similares pero superiores a TC. Los hombres presentan mejores puntajes en 3D, no hubo diferencias en otros grupos.	Considera características demográficas y las incorpora entre objetivos de investigación. Compara múltiples modalidades	Sesgo de selección por N° reducido de participantes No evalúa directamente conocimientos basales El modelo no incluyó estructuras musculares/neurovascular
35	Comparar modelo I3D de pelvis con libro de texto tradicional	N/E	Randomizado o Controlado	Evaluación con COM 1; Autoaprendizaje con libro de texto o modelo I3D; Evaluación con COM 1 y COM 2	Conocimiento basal similar entre ambos grupos Tras la intervención, los resultados de COM 1 y 2 eran significativamente mayores en I3D.	Mide conocimientos basales de participantes	Bajo número de participantes Incorpora participantes que no son EM

12	Desarrollar un modelo de I3D de segmentos hepáticos como una herramienta de enseñanza y evaluar su impacto en aprendizaje	El estudio de segmentos hepáticos frecuentemente es realizado con libros de textos e ilustraciones 2D, lo que exige una difícil reconstrucción mental de los mismos.	Randomizado o controlado	División en grupos de estudio: a) sesión con modelo I3D (3 grupos) b) sesión con atlas anatómico (1 grupo); Evaluación post-intervención; Nueva evaluación sorpresa 5 días después para evaluar retención	Los tres modelos de I3D presentan resultados diferentes en cuanto a puntuaciones de papers, sin embargo, siempre superiores al control.	Evalúa retención de conocimientos a mediano plazo No se informa a participantes de segunda evaluación, volviendo resultados más confiables	No evalúa conocimiento a largo plazo No establece basal de conocimientos con pre-evaluación No caracteriza demográficamente participantes
10	Evaluar la efectividad de modelos I3D contra modelos cadavéricos para anatomía cardíaca externa.	N/E	Doble ciego randomizado o controlado	Evaluación pre-intervención; División en tres grupos de autoaprendizaje (material cadavérico, modelo I3D, combinado); evaluación post-intervención.	Los resultados pre intervención fueron similares en ambos grupos. Los resultados post-intervención destacan un incremento significativo en el grupo I3D	Estudiantes sin exposición previa a contenidos evaluados en intervención Estudio estricto en ejecución de su metodología Doble ciego	Solo evalúa una región anatómica Diferencias en formatos de evaluaciones pre y post intervención dificultan comparación Hubo más participantes femeninas en el grupo combinado
24	Investigar el rol de I3D en mejorar conocimientos inmediatos y a largo plazo en MCC.	N/E	Cohorte prospectiva	Distribución en dos grupos con acceso a modelo V3D y diagramas 2D. Solo uno recibe modelo MCC I3D a solo un grupo; Evaluación 1; Evaluación 2 (6 semanas después)	Resultados de Evaluación 1 fueron marginalmente mayores en I3D I3D no mejoró la retención a largo plazo de conocimientos.	Incluye evaluación a largo plazo Mide basal de conocimientos de participantes Mayor diversidad de participantes incorporando 2 generaciones de EM.	Sin pre-evaluación Participantes con educación terciaria ya cursada dentro de la muestra Estudiantes pudieron haber practicado la realización de Evaluación 2 con anterioridad
17	Investigar los efectos de I3D en el aprendizaje del tronco	N/E	Randomizado o controlado prospectivo	Evaluación pre-intervención; División en 2 grupos, uno actuando como control	Todos los grupos mejoraron sus puntuaciones tras el seminario, con una	Incorpora participantes de dos centros	Escaso número de participantes No evalúa retención de conocimientos a largo plazo No considera características

	gastrocólico de Henle en comparación a imágenes 2D			con imágenes 2D, otro recibiendo un modelo I3D. Ambos accedieron a un video quirúrgico; Evaluación post-intervención	diferencia significativa a favor del grupo I3D.		demográficas Internos podrían haber tenido conocimientos previos del área
11	Comparar la eficacia de las muestras impresas en 3D y las muestras plastinadas de la anatomía del cuello y del corazón como herramientas de enseñanza.	Los modelos 3D tendrían un beneficio educativo similar a los modelos plastinados para las regiones anatómicas complejas.	Un estudio cruzado aleatorizado de dos fases.	Evaluación antes y después de la intervención.	Ambos grupos mostraron una mejora significativa. No hubo diferencias significativas entre los grupos plastinados y los de 3DP.	Periodo de <i>wash-out</i> de 6 semanas entre evaluación cardíaca y cervical. Solo estudiantes de primer año. Los participantes desconocían el tema del estudio en ambas fases.	Mismas preguntas para las evaluaciones previas y posteriores a la prueba, lo que acarreo un riesgo de sesgo de memoria a pesar de que se realizó una aleatorización de la secuencia. No evalúa la retención de conocimientos a largo plazo.
34	Uso simultáneo de I3D, V3D e imágenes 2D optimizan el estudio de	El aprendizaje de la anatomía con herramientas 2D, como la radiología, es dificultoso.	Cruzado	Evaluación pre-intervención; división en dos grupos: A) Combinado, con V3D + I3D de tórax B) 2D, con	El grupo combinado mejoraba significativamente su capacidad de identificar estructuras en cortes	Considera información demográfica de participantes; Evalúa habilidades visoespaciales basales;	El grupo intervenido y de control evaluaron segmentos anatómicos distintos (Tórax v/s abdomen) Al usar simultáneamente V3D e

	anatomía en cortes transversos			imágenes de cortes transversos abdominales; Evaluación post-intervención	transversos de tórax y presentaron un mayor incremento de puntuación entre ambas evaluaciones.	Evaluación pre y post intervención eran diferentes; Metodología estricta para evitar el paso de información entre estudiantes.	I3D no se pueden atribuir los resultados a una u otra modalidad.
13	Investigar la efectividad educativa de un cráneo I3D en comparación a un cráneo real y estudio con atlas 2D.	La disección es una herramienta educativa útil, sin embargo, es de difícil acceso, siendo de interés estudiar alternativas.	Controlado Randomizado	Evaluación pre-intervención; Distribución randomizada en grupo A) I3D de cráneo B) Cráneo humano real C) Atlas 2D; Realización de evaluación post-intervención (COM + Laboratorio)	La evaluación final destaca mejor desempeño de I3D por sobre los otros dos grupos (puntaje total y Laboratorio), sin diferencias en el COM entre los tres grupos.	Evalúa conocimientos basales. Considera información demográfica Condiciones experimentales estrictas	Muestra extraída de universidad de alta exigencia, por lo que habilidades sobre el promedio de aprendizaje pudieran atenuar diferencias entre los grupos.
5	Evaluar si el uso de I3D mejora la interpretación de la anatomía traqueobronquial en la TC multiplanar.	Las imágenes radiológicas requieren interpretación de estructuras anatómicas tridimensionales desde una imagen bidimensional. Los modelos impresos en 3D podrían mejorar la comprensión de la anatomía espacial.	Estudio prospectivo aleatorizado	Distribución de estudiantes en dos grupos: A) I3D; B) Imagen Impresa 2D; COM, inmediatamente después de la intervención y una 2ª COM dos semanas después.	En COM 1, grupo 2D con mejor puntuación que 3D (no estadísticamente significativa) Puntajes de COM 2 significativamente inferiores en grupo 2D y puntuación similar en el grupo 3D.	Evalúa la retención de información. Se tuvieron en cuenta las diferencias demográficas entre los participantes.	Los participantes conocían la prueba de seguimiento, por lo que pudieron prepararla con antelación. Número relativamente pequeño de participantes

25	Evaluar utilidad de I3D para enseñar a estudiantes de medicina cuatro MCC	La I3D permite convertir imágenes 2D en réplicas físicas que pudieran ayudar a enseñar MCC	Randomizado o controlado prospectivo	COM pre-intervención; Randomización de participantes en grupo I3D y control; Clase teórica de MCC, donde solo se permite a grupo I3D manipular modelo de MCC; COM post-intervención	Conocimiento objetivo fue mayor en el grupo I3D tras la intervención para cada tipo de modelo de MCC	Evaluación pre-intervención Emplea múltiples modelos de MCC	No evalúa retención de conocimiento a largo plazo Modelos I3D no necesariamente representan de manera correcta características de un corazón real
32	Identificar el impacto de la I3D contra ilustraciones 2D en enseñanza de trauma craneofacial	La enseñanza de trauma craneofacial es un desafío dada su complejidad regional y visuoespacial	Randomizado o controlado prospectivo	Sesión didáctica empleando I3D; sesión didáctica empleando ilustraciones 2D; Evaluación post-intervención	El modelo I3D presentó mejores resultados evaluativos, especialmente en aspectos biomecánicos	Realiza pre-evaluación de familiaridad con I3D. Considera características demográficas Adecuado N° Participantes	La metodología no incluyó evaluación de retención de conocimientos a largo plazo.
20	Determinar el efecto de I3D en el aprendizaje de anatomía y fracturas óseas	El aprendizaje de anatomía ósea es clave en EM, pero se desconoce si I3D lo incrementa.	Estudio randomizado o controlado.	División en grupos de I3D y enseñanza radiológica tradicional; COM post-intervención	No evidencia diferencias significativas en conocimiento de extremidad superior/inferior; en pelvis/columna el grupo I3D respondió el COM más rápidamente y obtuvo mejores resultados.	Artículo anexa COM empleada para evaluación. Compara desempeño en ramo de anatomía con tal de asegurar homogeneidad de participantes	N° participantes relativamente reducido. No realiza una prueba pre-intervención.

EM (Estudiantes de Medicina) 2D (Dos-dimensiones) 3D (Tres-dimensiones) I3D (Impresión 3D) V3D (Modelo Virtual Tridimensional) COM (Cuestionario de opción múltiple) N/E (No especificado) RNM (Resonancia Nuclear Magnética) TC (Tomografía Computada) MCC (Malformación Cardíaca Congénita) ANOVA (Análisis de Varianza) PSTT (Paired Sample T-Test) ISTT (Independent Sample T-Test)

3.3 Impacto de la I3D sobre el aprendizaje

La mayoría de los estudios incluidos describen un impacto educativo producido tras la exposición de EM a modelos de I3D. Notablemente, todos los estudios que compararon I3D exclusivamente con modelos 2D (Atlas, ilustraciones o imágenes radiológicas) evidenciaron mejores puntuaciones post-intervención del grupo intervenido, tanto en enseñanza de anatomía (16,17,28) como de patologías (22,25,29–32).

Otro enfoque comparativo de interés para la literatura fue contraponer resultados de I3D con modelos cadavéricos, entre los cuales se reportaron resultados generalmente favorables para I3D en enseñanza de anatomía (10,13,33). Esto fue atribuido al elevado nivel de detalle de los modelos impresos, así como su rol reduciendo el estrés psicológico de los EM a la hora de enfrentarse a cadáveres por primera vez (10). Pese a lo anterior, también hubo estudios que no evidenciaron diferencias significativas en evaluaciones inmediatas post-intervención (11,14), sin embargo, ninguno reportó inferioridad de la I3D como herramienta didáctica.

Por otro lado, algunos estudios buscaron comparar el impacto educativo de I3D con modelos virtuales tridimensionales (V3D), sin evidenciarse diferencias significativas entre ambas herramientas al medir la adquisición de conocimiento inmediato (12,16,24) o retención de conocimientos a largo plazo (24).

Aunque la mayoría de los estudios evaluó aprendizaje en un contexto teórico, ciertas publicaciones destacan el rol de la I3D a la hora de adquirir habilidades prácticas entre EM. Notablemente el estudio de Wu C, et al. evidencia cómo el empleo de un modelo de fondo de ojo mejora la capacidad y velocidad de visualización de estructuras de relevancia por oftalmoscopia (27), así como el estudio de Chen S, et al. que evidenció puntuaciones mayores en el laboratorio aplicado de anatomía entre EM expuestos a modelos de cráneos I3D respecto a cráneos humanos e ilustraciones 2D (13). A su vez, se destaca el estudio de O'Brien, et al. dentro del campo de la radiología, donde evidencia que en comparación a educación con imágenes 2D, el empleo de un modelo I3D consolida mejor los conocimientos adquiridos durante la intervención (5).

Por otro lado, la I3D ha demostrado un rol en cuanto a la enseñanza dinámica de anatomía y patología, dada la capacidad de crear modelos articulados y multicomponentes. Un ejemplo de esto es el estudio de Nicot R et al, donde la I3D facilita el aprendizaje de la biomecánica del trauma craneofacial (32), así como la publicación de Yan M et al, que evidencia una asociación positiva entre empleo de I3D y comprensión de mecanismos de fractura pélvica (19), y el simulador de articulación de rodilla diseñado por Cai B et al, que permite la enseñanza de anatomía funcional (33).

Por último, vale destacar que un número limitado de estudios destacan los efectos positivos de la I3D a la hora de favorecer el aprendizaje a largo plazo en comparación a modelos 2D (30) e imágenes 2D (5). Estos hallazgos no fueron reproducidos en la publicación de Lau I et al, que compara I3D con V3D (24).

La Tabla 4 contiene un resumen del impacto que la I3D ha tenido según el área en que ha sido incorporada.

Tabla 4. Áreas de empleo de la impresión 3D e impacto educativo

Área de Aplicación (número de artículos)	Impacto
Enseñanza de Anatomía (n = 13)	Brinda un mejor entendimiento espacial y relacional de estructuras anatómicas que son difíciles de interiorizar a través de los atlas clásicos o modelos cadavéricos.
Enseñanza de Patologías (n = 13)	Permite una mejor comprensión, en comparación con los métodos clásicos, de diversas patologías en las que el sustrato anatómico adquiere gran relevancia para el entendimiento fisiopatológico de éstas, en especial en áreas en las que clásicamente los estudiantes de medicina consideran más áridas y complejas. Algunos de los temas más abordados son, por ejemplo, las cardiopatías congénitas y los rasgos de fractura.
Enseñanza de Radiología (n = 1)	Otorga mayor capacidad de identificar estructuras correctamente en cortes transversales de tórax. Cabe destacar que no se puede atribuir completamente este resultado dado que el grupo investigado utilizó simultáneamente I3D.
Simuladores (n = 1)	La I3D en modelos oculares contribuye a mejorar la visualización del disco óptico e identificar de mejor manera la relación excavación/disco.

4. Discusión

El análisis de los resultados obtenidos evidencian un impacto positivo de la introducción de tecnologías de I3D en diversas áreas de la formación médica, tanto en aprendizajes teóricos como en habilidades prácticas en determinadas áreas, tales como en anatomía (28), traumatología (20), cirugía (29) y radiología (5). Se evidenció que la I3D fue capaz de ofrecer ambientes de aprendizaje más eficientes, permitiendo el desarrollo de modelos más detallados y específicos para simular distintas patologías o estructuras anatómicas, de este modo facilitando su estudio (26). La I3D facilita la comprensión visuoespacial de determinados tópicos, a su vez disminuyendo la carga cognitiva requerida para su aprendizaje (11), siendo de este modo preferentemente incorporada en asignaturas que requiriesen una conceptualización de estructuras tridimensionalmente complejas (23).

4.1 I3D presenta mejores resultados que los modelos 2D

Diversos estudios demostraron resultados ampliamente favorables a la utilización de la I3D por sobre modelos bidimensionales. Los modelos físicos presentan una ventaja sobre herramientas 2D, especialmente dentro de tópicos que involucren un componente kinésico (28), dado que su componente háptico facilita el desarrollo de una imagen mental más comprensible del objeto de estudio (30), lo que fue complementado en diversos estudios incorporando materiales de diversas texturas y colores para facilitar el reconocimiento y diferenciación de diferentes estructuras (11). A su vez, tópicos comúnmente conocidos por su difícil comprensión a través de una enseñanza clásica, tales como la morfología de cardiopatías congénitas (26), así como la patología craneofacial (32), se beneficiaron de la incorporación de este tipo de herramienta.

4.2 La I3D como alternativa válida a los modelos cadavéricos

Respecto a la anatomía, la I3D se ha introducido como una tecnología con el potencial de convertirse en una fuente accesible de materiales educativos de alta calidad, reduciendo barreras financieras, éticas, culturales y logísticas asociadas con mantener un plan de estudios basado en cadáveres (10). Se ha descrito que el empleo de modelos cadavéricos puede generar inhibiciones psicológicas, como ansiedad, miedo e inquietud entre ciertos estudiantes, comprometiendo su aprendizaje (10,11). Además, la I3D presenta la ventaja de permitir una mayor accesibilidad a patologías poco frecuentes, como malformaciones anatómicas, donde la disponibilidad de preparados cadavéricos es limitada (23). A su vez, dado que los materiales cadavéricos son frágiles y de difícil mantenimiento, su deterioro natural disminuye su calidad didáctica (14), tal como se evidenció en el estudio de Chen S, et al (13). donde, pese a esperarse semejantes resultados al comparar I3D con cráneos cadavéricos, la primera obtuvo mejores puntuaciones, en parte atribuidas al deterioro de los modelos cadavéricos empleados. Vale destacar que aunque ciertos estudios no evidenciaron diferencias entre los resultados obtenidos al comparar I3D con cadáveres (11,14), ninguno concluyó perjuicio tras el empleo de esta tecnología, posicionándola como una alternativa eficiente a la hora de enseñar anatomía.

4.3 La I3D puede abaratar costos y aumentar accesibilidad

La I3D es un método factible de implementar, con costo efectividad superior respecto a los modelos comercialmente disponibles, e incluso plastinados (11). La I3D es menos costosa que conseguir y mantener modelos cadavéricos, por lo que podrían ser adquiridos por más escuelas de medicina, aumentando su accesibilidad (11).

4.4 Fortalezas

Entre las fortalezas del presente trabajo se destaca un estudio exhaustivo y riguroso de la literatura, incorporando publicaciones de múltiples bases de datos así como efectuando Snowballing de los resultados de diversas revisiones sistemáticas de relevancia del área. A su vez, destaca su contribución al conocimiento que respecta la formación general de medicina, la cual es frecuentemente dejada de lado a favor de la investigación de la I3D en contexto de la formación del especialista. A su vez, ofrece una visión integral de la aplicación de la I3D entre EM, dado que las revisiones disponibles a la fecha tienden

a centrarse en áreas particulares, como pediatría (6) y anatomía (1,2,7), por sobre una visión general de las capacidades didácticas de esta tecnología.

4.5 Limitaciones

Entre las limitaciones descritas para la presente revisión destaca el escaso número de estudios que planteen como objetivo la evaluación del aprendizaje a largo plazo, lo que limita la capacidad de determinar el verdadero impacto educativo de esta tecnología (30). A su vez, el diseño predominantemente unicéntrico de los estudios dificulta lo anterior, puesto que, tras la intervención, los EM de grupos I3D podrían entrar en contacto con estudiantes del grupo control, ocurriendo una difusión de conocimientos entre ambas poblaciones afectando evaluaciones posteriores. Por otro lado, también se evidenció como la mayoría de los estudios diseñaron sus propias evaluaciones, así como las validaron con los mismos resultados de su intervención, evidenciándose a su vez la participación directa de los investigadores dentro de las sesiones educativas/evaluativas, lo que conlleva un elevado riesgo de sesgo. Una forma de contrarrestar lo anterior sería asignar el rol examinador a una entidad externa, como efectuó Lim KHA, et al (10). También la presente revisión evidenció una relevante heterogeneidad metodológica entre estudios, así como problemas en sus diseños, tales como no medir adecuadamente conocimientos basales de sus estudiantes (12), incorporando individuos a la muestra por iniciativa propia, lo que podría atraer individuos con mayores conocimientos basales en el área a evaluar (15) o combinar técnicas de modelos digitales 3D con I3D, imposibilitando concluir que sus resultados fuesen atribuibles a una u otra tecnología (34).

4.6 Futuros Estudios

Es necesario abrir las puertas al diseño de nuevos estudios con metodologías más rigurosas, idealmente multicéntricos, centrados en la evaluación del impacto de esta tecnología en el aprendizaje a largo plazo, así como evaluar su impacto dentro de asignaturas distintas a las descritas con anterioridad.

5. Conclusiones

- Las metodologías de aprendizaje tradicionales, tales como libros de texto, presentaciones 2D y los atlas ilustrativos han logrado adecuados resultados educativos en la carrera de medicina, sin embargo, con la aparición de las nuevas tecnologías, tales como la I3D, este proceso se puede optimizar en tiempo, recursos y calidad, haciéndolo más eficiente para las próximas generaciones y sus nuevas necesidades.
- La I3D podría ser una buena alternativa a los modelos cadavéricos para el estudio de la anatomía, disminuyendo las brechas de oportunidades de acceso a modelos educativos tridimensionales, manteniendo un adecuado nivel de detalle y fidelidad a la realidad.
- Es necesario seguir investigando los efectos de la I3D en el aprendizaje a largo plazo de los estudiantes de medicina para así determinar con totalidad la efectividad de su implementación como herramienta de estudio, dado que la literatura científica actual es escasa.

Financiación: No ha habido financiación.

Agradecimientos: Agradecemos al Programa de Ayudantes Docentes, Centro de Enseñanza y Aprendizaje de la Facultad de Medicina, Universidad de Chile por el espacio para crear e investigar.

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

Contribuciones de los autores: Mario Zelada, Francis Beltrán y Fabrizio Margas contribuyeron a la recopilación de datos y análisis de la revisión sistemática presentada, así como a su redacción y revisión del manuscrito. Marcos Rojas Pino contribuyó en la supervisión y revisión del manuscrito. Todos/as los/as autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

Referencias

1. Fleming C, Sadaghiani MS, Stellon MA, Javan R. Effectiveness of Three-Dimensionally Printed Models in Anatomy Education for Medical Students and Resident Physicians: Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Coll Radiol JACR*. 2020 Oct;17(10):1220–9. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2020.05.030>
2. Chytas D, Johnson EO, Piagkou M, Tsakotos G, Babis GC, Nikolaou VS, et al. Three-dimensional printing in anatomy teaching: current evidence. *Surg Radiol Anat*. 2020 Jul 1;42(7):835–41. <https://doi.org/10.1007/s00276-020-02470-2>
3. Leung G, Pickett AT, Bartellas M, Milin A, Bromwich M, Shorr R, et al. Systematic review and meta-analysis of 3D-printing in otolaryngology education. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2022 Apr 1;155:111083. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2022.111083>
4. Brumpt E, Bertin E, Tatu L, Louvrier A. 3D printing as a pedagogical tool for teaching normal human anatomy: a systematic review. *BMC Med Educ*. 2023 Oct 20;23(1):783. <https://doi.org/10.1186/s12909-023-04744-w>
5. O'Brien C, Souza CA, Sheikh A, Miguel O, Wood T. Use of tracheobronchial tree 3-dimensional printed model: does it improve trainees' understanding of segmentation anatomy? A prospective study. *3D Print Med*. 2021 Jan 6;7(1):2. <https://doi.org/10.1186/s41205-020-00092-3>
6. Asif A, Lee E, Caputo M, Biglino G, Shearn AIU. Role of 3D printing technology in paediatric teaching and training: a systematic review. *BMJ Paediatr Open*. 2021 Dec;5(1):e001050. <https://doi.org/10.1136/bmjpo-2021-001050>
7. Ye Z, Jiang H, Bai S, Wang T, Yang D, Hou H, et al. Meta-analyzing the efficacy of 3D printed models in anatomy education. *Front Bioeng Biotechnol*. 2023 Feb 20;11:1117555. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1117555>
8. Schwartz DL, Tsang JM, Blair KP. *The ABCs of how we learn: 26 scientifically proven approaches, how they work, and when to use them*. First edition. New York, NY: W.W. Norton & Company, Inc; 2016. 367 p. (Norton books in education).
9. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021 Mar 29;372:n71. <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4>
10. Lim KHA, Loo ZY, Goldie SJ, Adams JW, McMenamin PG. Use of 3D printed models in medical education: A randomized control trial comparing 3D prints versus cadaveric materials for learning external cardiac anatomy. *Anat Sci Educ*. 2016 May 6;9(3):213–21. <https://doi.org/10.1002/ase.1573>
11. Mogali SR, Chandrasekaran R, Radzi S, Peh ZK, Tan GJS, Rajalingam P, et al. Investigating the effectiveness of three-dimensionally printed anatomical models compared with plastinated human specimens in learning cardiac and neck anatomy: A randomized crossover study. *Anat Sci Educ*. 2022 Nov;15(6):1007–17. <https://doi.org/10.1002/ase.2128>
12. Kong X, Nie L, Zhang H, Wang Z, Ye Q, Tang L, et al. Do 3D Printing Models Improve Anatomical Teaching About Hepatic Segments to Medical Students? A Randomized Controlled Study. *World J Surg*. 2016 Aug;40(8):1969–76. <https://doi.org/10.1007/s00268-016-3541-y>

13. Chen S, Pan Z, Wu Y, Gu Z, Li M, Liang Z, et al. The role of three-dimensional printed models of skull in anatomy education: a randomized controlled trial. *Sci Rep.* 2017 Apr 3;7(1):575. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00647-1>
14. Yang MY, Tseng HC, Liu CH, Tsai SY, Chen JH, Chu YH, et al. Effects of the individual three-dimensional printed craniofacial bones with a quick response code on the skull spatial knowledge of undergraduate medical students. *Anat Sci Educ.* 2023;16(5):858–69. <https://doi.org/10.1002/ase.2269>
15. Tanner JA, Jethwa B, Jackson J, Bartanuszova M, King TS, Bhattacharya A, et al. A Three-Dimensional Print Model of the Pterygopalatine Fossa Significantly Enhances the Learning Experience. *Anat Sci Educ.* 2020 Sep;13(5):568–80. <https://doi.org/10.1002/ase.1942>
16. Yi X, Ding C, Xu H, Huang T, Kang D, Wang D. Three-Dimensional Printed Models in Anatomy Education of the Ventricular System: A Randomized Controlled Study. *World Neurosurg.* 2019 May;125:e891–901. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.01.204>
17. Chen Y, Qian C, Shen R, Wu D, Bian L, Qu H, et al. 3D Printing Technology Improves Medical Interns' Understanding of Anatomy of Gastrocolic Trunk. *J Surg Educ.* 2020 Sep;77(5):1279–84. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2020.02.031>
18. Li Z, Li Z, Xu R, Li M, Li J, Liu Y, et al. Three-dimensional printing models improve understanding of spinal fracture—A randomized controlled study in China. *Sci Rep.* 2015 Jun 23;5(1):11570. <https://doi.org/10.1038/srep11570>
19. Yan M, Huang J, Ding M, Wang J, Ni J, Wu H, et al. Three-Dimensional Printing Model Enhances Correct Identification and Understanding of Pelvic Fracture in Medical Students. *J Surg Educ.* 2023 Mar 1;80(3):331–7. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2022.10.016>
20. Wu AM, Wang K, Wang JS, Chen CH, Yang XD, Ni WF, et al. The addition of 3D printed models to enhance the teaching and learning of bone spatial anatomy and fractures for undergraduate students: a randomized controlled study. *Ann Transl Med.* 2018 Oct;6(20):403–403. <https://doi.org/10.21037/atm.2018.09.59>
21. Ebbing J, Jäderling F, Collins JW, Akre O, Carlsson S, Höijer J, et al. Comparison of 3D printed prostate models with standard radiological information to aid understanding of the precise location of prostate cancer: A construct validation study. *PLOS ONE.* 2018 Jun 25;13(6):e0199477. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199477>
22. Youman S, Dang E, Jones M, Duran D, Brenseke B. The Use of 3D Printers in Medical Education with a Focus on Bone Pathology. *Med Sci Educ.* 2021 Apr 1;31(2):581–8. <https://doi.org/10.1007/s40670-021-01222-0>
23. Su W, Xiao Y, He S, Huang P, Deng X. Three-dimensional printing models in congenital heart disease education for medical students: a controlled comparative study. *BMC Med Educ.* 2018 Dec;18(1):178. <https://doi.org/10.1186/s12909-018-1293-0>
24. Lau I, Sun Z. The role of 3D printed heart models in immediate and long-term knowledge acquisition in medical education. *Rev Cardiovasc Med.* 2022 Jan 17;23(1):1. <https://doi.org/10.31083/j.rcm2301022>
25. Karsenty C, Guitarte A, Dulac Y, Briot J, Hascoet S, Vincent R, et al. The usefulness of 3D printed heart models for medical student education in congenital heart disease. *BMC Med Educ.* 2021 Dec;21(1):480. <https://doi.org/10.1186/s12909-021-02917-z>
26. Wang Z, Liu Y, Luo H, Gao C, Zhang J, Dai Y. Is a Three-Dimensional Printing Model Better Than a Traditional Cardiac Model for Medical Education? A Pilot Randomized Controlled Study. *Acta Cardiol Sin.* 2017 Nov;33(6):664–9. <https://doi.org/10.6515/20170621A>
27. Wu C, Luo M, Liu Y, Dai R, Zhang M, Zhong Y, et al. Application of a 3D-printed eye model for teaching direct ophthalmoscopy to undergraduates. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2022 Jul 1;260(7):2361–8. <https://doi.org/10.1007/s00417-021-05538-w>
28. Smith CF, Tollemache N, Covill D, Johnston M. Take away body parts! An investigation into the use of 3D-printed anatomical models in undergraduate anatomy education. *Anat Sci Educ.* 2018 Jan;11(1):44–53. <https://doi.org/10.1002/ase.1718>

29. Lane JC, Black JS. Modeling Medical Education: The Impact of Three-Dimensional Printed Models on Medical Student Education in Plastic Surgery. *J Craniofac Surg.* 2020 Jun;31(4):1018. <https://doi.org/10.1097/scs.0000000000006567>
30. Al-Badri N, Touzet-Roumazeille S, Nuytten A, Ferri J, Charkaluk ML, Nicot R. Three-dimensional printing models improve long-term retention in medical education of pathoanatomy: A randomized controlled study. *Clin Anat.* 2022;35(5):609–15. <https://doi.org/10.1002/ca.23878>
31. AlAli AB, Griffin MF, Calonge WM, Butler PE. Evaluating the Use of Cleft Lip and Palate 3D-Printed Models as a Teaching Aid. *J Surg Educ.* 2018 Jan 1;75(1):200–8. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2017.07.023>
32. Nicot R, Druelle C, Chazard E, Roland-Billecart T, Nuytten A, Richard F, et al. Three-Dimensional Printing Model Enhances Craniofacial Trauma Teaching by Improving Morphologic and Biomechanical Understanding: A Randomized Controlled Study. *Plast Reconstr Surg.* 2022 Mar;149(3):475e–84e. <https://doi.org/10.1097/prs.0000000000008869>
33. Cai B, Rajendran K, Bay BH, Lee J, Yen C. The Effects of a Functional Three-dimensional (3D) Printed Knee Joint Simulator in Improving Anatomical Spatial Knowledge. *Anat Sci Educ.* 2019 Nov;12(6):610–8. <https://doi.org/10.1002/ase.1847>
34. Ben Awadh A, Clark J, Clowry G, Keenan ID. Multimodal Three-Dimensional Visualization Enhances Novice Learner Interpretation of Basic Cross-Sectional Anatomy. *Anat Sci Educ.* 2022 Jan;15(1):127–42. <https://doi.org/10.1002/ase.2045>
35. Hojo D, Muroto K, Nozawa H, Kawai K, Hata K, Tanaka T, Oba K, Ishihara S. Utility of a Three-Dimensional Printed Pelvic Model for Lateral Pelvic Lymph Node Dissection Education: A Randomized Controlled Trial. *J Am Coll Surg.* 2019 Dec; 229(6): 552-559.e3. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2019.08.1443>



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