

ARTÍCULO ORIGINAL

Docencia

Evaluación de herramientas 3D y 2D en el aprendizaje de anatomía ósea: Percepciones de estudiantes de Odontología

Ruzbelt Castillo Velasco¹ | Byron Quezada Martinez² | Milton Lafebre Carrasco³ | Ruzbelt Castillo Morales⁴

¹Odontólogo, Universidad de Cuenca; Master en Dirección y Gestión Sanitaria, Universidad Internacional de La Rioja, Ecuador

²Odontólogo, Universidad de Cuenca

³Doctor en Odontología, Universidad de Cuenca, Magíster en Salud Pública, Magíster en Investigación de la Salud, Especialista en Periodoncia y Medicina Oral. Docente, Universidad de Cuenca

⁴Doctor en Odontología, Magister en Salud Pública, Universidad de Cuenca. Docente, Universidad Católica de Cuenca

Correspondencia

Ruzbelt Castillo Velasco

Email: adrian.castillov@ucuenca.edu.ec

Objetivo: Evaluar las percepciones de estudiantes de odontología sobre el aprendizaje, la autoeficacia y las limitaciones al utilizar tres herramientas diferentes de estudio anatómico. **Materiales y métodos:** Se empleó una metodología de investigación descriptiva con 38 estudiantes de odontología (31 mujeres [81,6%] y 7 hombres [18,4%]) matriculados en el curso de Anatomía I de la Universidad de Cuenca, Ecuador. Los participantes fueron asignados aleatoriamente mediante la función ALEATORIO() de Excel a una de tres herramientas de estudio. Los datos fueron recolectados mediante un cuestionario adaptado y validado de 19 ítems (de Cronbach = 0,923) que evaluó satisfacción con el aprendizaje, autoeficacia y limitaciones percibidas. El análisis estadístico incluyó el coeficiente de correlación de Pearson utilizando IBM SPSS Statistics versión 29.0.2.0. **Resultados:** Los estudiantes mostraron mayor satisfacción con los modelos impresos 3D (90% muy satisfechos) y tomografías 3D (84,6% muy satisfechos) en comparación con imágenes 2D (46,7% muy satisfechos). La autoeficacia fue más alta con tomografías 3D (84,6%). Sin embargo, las imágenes 2D fueron percibidas como más limitadas (50% limitadas), probablemente debido a la falta de presencia de etiquetas anatómicas solo en este grupo. **Conclusión:** La integración de tecnologías 3D en la educación anatómica mejora la satisfacción estudiantil y la autoeficacia percibida. El estudio reveló que tanto los modelos impresos 3D como las visualizaciones 3D son preferidos sobre las imágenes 2D tradicionales. Sin embargo, la accesibilidad y el costo de los modelos impresos 3D presentan desafíos para su adopción generalizada.

PALABRAS CLAVE

impresión tridimensional, educación dental, anatomía, tecnología educativa, autoeficacia,

1 | INTRODUCCIÓN

La tecnología tridimensional (3D) ha experimentado un crecimiento muy rápido en el campo de la salud, con un interés creciente debido a su versatilidad y las grandes posibilidades de edición y modelado previo a la impresión [1]. Actualmente en odontología, esta tecnología se utiliza para generar planes de tratamiento personalizados, y crear dispositivos dentales efectivos, replicables y rentables. Por lo tanto, es necesario considerar su uso potencial para la mejora continua de futuros profesionales de odontología [2].

Para un estudiante de odontología, dominar la anatomía humana es fundamental para su práctica diaria. Aunque aprender de cráneos reales puede proporcionar una comprensión espacial más detallada de las estructuras y características anatómicas, obtener especímenes óseos reales en la actualidad es complicado debido a consideraciones éticas, legales y prácticas [3]. Sin embargo, los avances en Cirugía Maxilofacial han introducido el uso de impresiones anatómicas y visualizadores computarizados 3D, facilitando la localización espacial precisa en tratamientos quirúrgicos [1, 3].

La relevancia de este estudio se fundamenta en el Modelo de Evaluación de Formación de Cuatro Niveles de Kirkpatrick, que postula que las intervenciones educativas deben evaluarse en múltiples niveles: Reacción (satisfacción del estudiante), Aprendizaje (adquisición de conocimiento), Comportamiento (aplicación del conocimiento), y Resultados (resultados a largo plazo) [4]. El éxito académico en la educación superior está influenciado por disposiciones individuales como la motivación y la autoeficacia. La autoeficacia, definida como la creencia de un individuo en su capacidad para ejecutar comportamientos necesarios para producir logros de desempeño específicos, importante para ejecutar logros académicos [5]. Basándonos en esta premisa teórica, buscamos identificar la herramienta de estudio que los estudiantes encuentran más satisfactoria y que mejora su autoeficacia.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar las percepciones de los estudiantes sobre el aprendizaje, la autoeficacia y las limitaciones percibidas al estudiar el hueso esfenoides utilizando tres herramientas de estudio diferentes: modelos impresos 3D, visualizaciones 2D (imágenes de libros de texto) y visualizaciones 3D (imágenes de tomografía computarizada). Este estudio contribuye al creciente cuerpo de literatura sobre educación anatómica mejorada con tecnología, siendo el primero en Ecuador que compara sistemáticamente estas tres modalidades para aprender huesos craneales complejos.

2 | MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 | Diseño del estudio y aprobación ética

Este estudio empleó una metodología de investigación descriptiva y transversal. El protocolo del estudio fue revisado, aprobado y monitoreado por el Comité de Ética para Investigación en Seres Humanos de la Universidad de Cuenca (CEISH-UC) bajo el código de protocolo 2023-003EO-OD durante la 38ª sesión ordinaria del 24 de octubre de 2023. Todos los participantes proporcionaron consentimiento informado por escrito antes de participar, y se mantuvo la confidencialidad durante todo el estudio.

2.2 | Participantes y muestra

La muestra comprendió 38 estudiantes de odontología de primer año (31 mujeres [81,6%] y 7 hombres [18,4%], edad media 19,5 años, rango de edad 18-22 años) matriculados en el curso de Anatomía I de la Facultad de Odontología, Universidad de Cuenca, para el período académico septiembre 2023 - febrero 2024. Inicialmente, 40 estudiantes estaban matriculados; sin embargo, dos se retiraron por razones personales no relacionadas con la investigación. Los criterios de inclusión fueron: matrícula activa en Anatomía I, sin exposición previa a modelos anatómicos 3D en educación formal, y disposición a participar.

2.3 | Asignación aleatoria a grupos de estudio

Los participantes fueron asignados aleatoriamente a uno de tres grupos utilizando la función ALEATORIO() de Excel aplicada a la lista de asistencia. La asignación resultó en: Grupo 1 - Modelos Impresos 3D: 10 estudiantes (26,3%); Grupo 2 - Imágenes 2D: 15 estudiantes (39,5%); Grupo 3 - Tomografías 3D: 13 estudiantes (34,2%). La distribución desigual se debió a limitaciones prácticas: solo se pudieron producir 10 modelos estereolitográficos (cada modelo costó aproximadamente \$15-20 USD y requirió 8-12 horas de impresión).

2.4 | Selección y preparación de materiales

Se seleccionó el hueso esfenoideas debido a su complejidad morfológica y relevancia clínica. Las imágenes 2D se derivaron del libro de anatomía de Rouvière [6], incluyendo etiquetas anatómicas. Para las tomografías 3D, se realizó una tomografía computarizada autorizada, exportando los archivos DICOM en formato STL. Los estudiantes recibieron capacitación en Windows 3D Viewer (resolución 10.000000). Para los modelos impresos 3D, se utilizó el mismo archivo STL con resina fotopolimerizable (grado dental) en tecnología SLA, con dimensiones de 7,7 × 11,0 × 5,6 cm y resolución de 50 micrones.

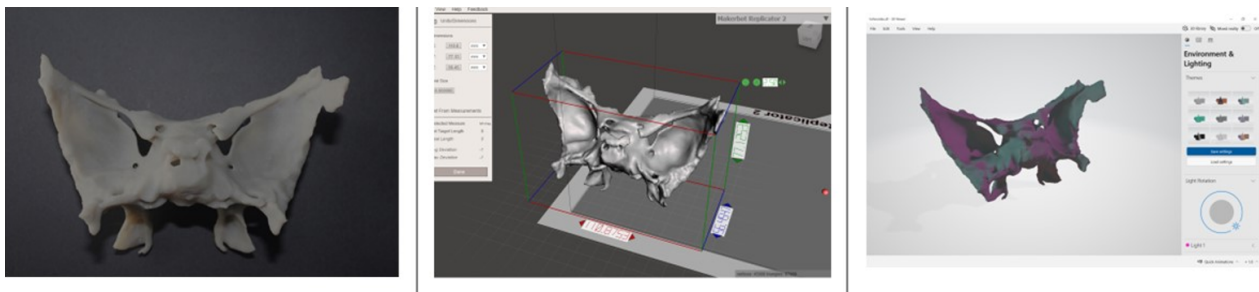


FIGURA 1 Herramientas de aprendizaje 3D y 2D

2.5 | Cronograma y procedimientos

El estudio se desarrolló en 6 semanas: Semana 1 (Día 1): consentimiento y distribución de materiales; Semanas 1-2: dos sesiones formales (4 horas totales) con instrucción estandarizada; Semanas 3-4: período de autoestudio (14 días); Semana 5 (Día 36): Prueba de Control 1; Semana 6 (Día 43): Prueba de Control 2; Semana 6 (Día 45): administración del cuestionario vía Google Forms.

2.6 | Medidas de control para evitar información cruzada

Para prevenir información cruzada entre grupos los estudiantes firmaron compromiso de no compartir materiales ni fotografías, las sesiones de laboratorio para modelos 3D fueron en horarios exclusivos, los archivos digitales de tomografías 3D fueron enviados a correos personales con instrucción de no reenviar y se realizó monitoreo aleatorio durante estudio libre.

2.7 | Instrumento de medición

El cuestionario fue adaptado del instrumento validado de Chandrasekaran *et al.* [7], traducido mediante proceso forward-backward. El instrumento final contaba con 19 ítems organizados en cuatro secciones: Satisfacción con el Aprendizaje (8 ítems, escala Likert 1-5), Valores Humanísticos (4 ítems), Autoeficacia (5 ítems), y Limitaciones de las Herramientas (2 ítems). El análisis de confiabilidad demostró

excelente consistencia interna con α de Cronbach = 0,923 (Satisfacción: α = 0,955; Valores humanísticos: α = 0,851; Autoeficacia: α = 0,814; Limitaciones: α = 0,900).

2.8 | Evaluación del rendimiento académico

El rendimiento académico se midió utilizando el sistema de calificación ecuatoriano (escala 0-10, mínimo aprobatorio 7,0). Se registraron tres medidas: Prueba de Control 1 (examen escrito, 20 preguntas), Prueba de Control 2 (identificación práctica, 15 estructuras), y PROMANA (promedio del curso en escala 0-100, convertido a 0-10).

2.9 | Análisis estadístico

Los datos se analizaron con IBM SPSS Statistics versión 29.0.2.0. Las respuestas se categorizaron según porcentaje del puntaje máximo: Insatisfecho (< 50%), Satisfecho (50-74,9%), Muy Satisfecho (\geq 75%). Se calcularon estadísticas descriptivas (medias, desviaciones estándar) y coeficientes de correlación de Pearson entre satisfacción, autoeficacia, limitaciones percibidas y rendimiento académico. La significancia estadística se estableció en $p < 0,05$.

3 | RESULTADOS

La muestra final consistió en 38 estudiantes (31 mujeres [81,6%], 7 hombres [18,4%]; edad media 19,5 años). Las características demográficas fueron similares entre grupos.

Los estudiantes mostraron fuerte satisfacción con modelos 3D (90% muy satisfechos) y tomografías 3D (84,6%), comparado con imágenes 2D (46,7%). Un 20% reportaron insatisfacción con imágenes 2D. Todos reportaron autoeficacia positiva. El grupo de tomografías 3D mostró la mayor autoeficacia (84,6%), seguido por imágenes 2D (66,7%) y modelos 3D (60,0%). Las tomografías 3D fueron las más manejables (76,9%), seguidas por modelos 3D (60,0%) e imágenes 2D (53,4%).

Se encontró correlación positiva moderada entre satisfacción y autoeficacia ($r = 0,576$, $p < 0,001$). Las medidas de rendimiento mostraron: Prueba 1 ($M = 4,84$, $DE = 1,73$), Prueba 2 ($M = 6,03$, $DE = 1,65$), PROMANA ($M = 68,11$, $DE = 11,35$ en escala 0-100). No hubo correlaciones significativas entre percepciones y rendimiento académico.

Herramienta	Insatisfecho n (%)	Satisfecho n (%)	Muy Satisfecho n (%)	Total n (%)
Modelos 3D	0 (0,0)	1 (10,0)	9 (90,0)	10 (100,0)
Imágenes 2D	3 (20,0)	5 (33,3)	7 (46,7)	15 (100,0)
Tomografías 3D	1 (7,7)	1 (7,7)	11 (84,6)	13 (100,0)
Total	4 (10,5)	7 (18,4)	27 (71,1)	38 (100,0)

CUADRO 1 Satisfacción con el aprendizaje según herramienta anatómica

Herramienta	Satisfecho n (%)	Muy Satisfecho n (%)	Total n (%)
Modelos 3D	4 (40,0)	6 (60,0)	10 (100,0)
Imágenes 2D	5 (33,3)	10 (66,7)	15 (100,0)
Tomografías 3D	2 (15,4)	11 (84,6)	13 (100,0)
Total	11 (28,9)	27 (71,1)	38 (100,0)

CUADRO 2 Autoeficacia según herramienta anatómica

CUADRO 3 Limitaciones percibidas según herramienta anatómica

Herramienta	Muy Manejable n (%)	Manejable n (%)	Limitado n (%)	Muy Limitado n (%)	Total n (%)
Modelos 3D	3 (30,0)	3 (30,0)	3 (30,0)	1 (10,0)	10 (100,0)
Imágenes 2D	4 (26,7)	4 (26,7)	5 (33,3)	2 (13,3)	15 (100,0)
Tomografías 3D	3 (23,1)	7 (53,8)	3 (23,1)	0 (0,0)	13 (100,0)
Total	10 (26,3)	14 (36,8)	11 (28,9)	3 (7,9)	38 (100,0)

CUADRO 4 Correlaciones de Pearson entre variables del estudio

Variable	1	2	3	4	5	6
1. Satisfacción	1,000					
2. Autoeficacia	0,576**	1,000				
3. Limitaciones	0,119	-0,062	1,000			
4. Prueba 1	0,175	0,145	0,019	1,000		
5. Prueba 2	0,010	-0,025	0,244	0,511**	1,000	
6. PROMANA	-0,159	0,063	0,016	0,452**	0,444**	1,000

Nota: ** $p < 0,01$ (bilateral). $N = 38$.

4 | DISCUSIÓN

Este estudio evaluó las percepciones de estudiantes de odontología sobre tres herramientas anatómicas: modelos impresos 3D, imágenes 2D y tomografías 3D. Los hallazgos principales revelan mayor satisfacción y autoeficacia con tecnologías 3D (90% y 84,6% muy satisfechos) comparado con imágenes 2D (46,7%).

Nuestros resultados concuerdan con estudios previos. Tanner *et al.* [8] reportaron que modelos 3D de la fosa pterigopalatina mejoraron significativamente el rendimiento académico ($P = 0,001$, $d = 0,504$) y fueron percibidos como más útiles que especímenes tradicionales. La revisión sistemática de Chytas *et al.* [9] confirmó que la impresión 3D fue estadísticamente superior a imágenes 2D en ocho estudios comparativos, aunque destacaron que ningún estudio comparó efectividad de 3D versus disección cadavérica, sugiriendo que modelos 3D funcionan mejor como complemento. Smithet *et al.* [10] y Cai *et al.* [11] encontraron preferencias similares por modelos 3D.

El contexto es relevante dado los cambios en educación anatómica post-pandemia. Iwanaga *et al.* [12] documentaron cómo COVID-19 aceleró la adopción de tecnologías digitales ante el acceso restringido a laboratorios cadavéricos. Aunque nuestro estudio se realizó post-pandemia (2023-2024), las limitaciones persistentes en Ecuador reflejan desafíos estructurales [3] escasez de programas de donación para educación bucal, barreras culturales, costos de mantenimiento y restricciones legales, justificando alternativas tecnológicas sostenibles.

Paradójicamente, no encontramos correlaciones significativas entre satisfacción/autoeficacia y rendimiento académico ($r = -0,159$ a $0,175$, $p > 0,05$). Esto contrasta con Tanner *et al.* [8], quienes reportaron mejoras significativas. Las diferencias pueden deberse a: estructura anatómica estudiada – fosa pterigopalatina de Tanner es más compleja y profunda que hueso esfenoides (2).

Nuestras evaluaciones tradicionales no capturaron diferencias en comprensión espacial 3D. Esto sugiere que preferencias estudiantiles no deben ser el único criterio para seleccionar herramientas pedagógicas.

Un hallazgo *post-hoc* fue que las imágenes 2D fueron las únicas con etiquetas anatómicas permanentes. Esto puede explicar la menor satisfacción (46,7%) pesar de autoeficacia alta (66,7%). Las etiquetas facilitaron identificación de estructuras pero resaltaron limitaciones del formato 2D para comprensión espacial. Futuras investigaciones deberían controlar esta variable mediante software 3D con anotaciones digitales activables, como sugieren Chytaset *al.*[9].

Desde perspectiva de costo-efectividad, las tomografías 3D ofrecen ventajas para instituciones con recursos limitados: costo único de escaneo (\$50-100 USD), distribución digital instantánea, escalabilidad ilimitada, comparado con modelos impresos (\$15-20 USD/unidad, 8-12 horas producción, fragilidad física). Para Ecuador y contextos latinoamericanos similares, tomografías 3D representan la opción más viable: satisfacción comparable a modelos físicos (84,6% vs 90%) con escalabilidad superior.

5 | CONCLUSIÓN

La integración de tecnologías 3D en la educación anatómica dental mejora significativamente la satisfacción estudiantil y la autoeficacia percibida. Los modelos impresos 3D y las tomografías 3D son claramente preferidos sobre imágenes 2D tradicionales para aprender anatomía ósea compleja, con el cuestionario validado demostrando excelente confiabilidad (α de Cronbach = 0,923).

Sin embargo, la ausencia de correlación entre estas percepciones positivas y el rendimiento académico objetivo sugiere que las preferencias estudiantiles no deben ser el único criterio para seleccionar herramientas pedagógicas. Las tomografías 3D con etiquetado digital representan una alternativa costo-efectiva y escalable a los modelos físicos, especialmente relevante para instituciones con recursos limitados.

Las futuras estrategias curriculares deberían considerar la incorporación de visualizaciones 3D interactivas con anotaciones digitales, combinando las ventajas de visualización tridimensional con orientación pedagógica estructurada, mientras se desarrollan métodos de evaluación más sensibles que capturen diferencias en comprensión espacial y profundidad del conocimiento anatómico.

6 | CONFLICTOS DE INTERÉS

Sin conflictos de intereses.

7 | AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Comité de Ética para la Investigación en Seres Humanos (CEISH) de la Universidad de Cuenca por la aprobación del protocolo de investigación. También agradecen a los estudiantes de la Facultad de Odontología de la Universidad de Cuenca que participaron voluntariamente en este estudio, y al personal docente por facilitar el acceso a las instalaciones y recursos necesarios para la investigación.

Referencias

- [1] Jeon S, Yoon HI, Lee JH, Yeo ISL, Han JS. Complete mouth rehabilitation with fixed implant-supported prosthesis using temporary denture and dental CAD-CAM. *J Korean Acad Prosthodont* 2022;60(1):100-109.
- [2] Pillai S, Upadhyay A, Khayambashi P, Farooq I, Sabri H, Tarar M, et al. Dental 3D-printing: transferring art from the laboratories to the clinics. *Polymers* 2021;13(1):157.
- [3] Bartikian M, Ferreira A, Gonçalves-Ferreira A, Neto LL. 3D printing anatomical models of head bones. *Surg Radiol Anat* 2019;41(10):1205-1209.
- [4] Kirkpatrick DL, Kirkpatrick JD. *Evaluating training programs: the four levels*. 3rd ed. San Francisco: Berrett-Koehler 2006;.

- [5] Bandura A. *Self-efficacy: the exercise of control*. New York: Freeman 1997;.
- [6] Rouvière H, Delmas A. *Anatomía humana: descriptiva, topográfica y funcional*. Tomo 1. 11th ed. Barcelona: Masson 2005;.
- [7] Chandrasekaran R, Radzi S, Kai PZ, Rajalingam P, Rotgans J, Mogali SR. A validated instrument measuring students' perceptions on plastinated and three-dimensional printed anatomy tools. *Anat Sci Educ* 2022;15(5):850–862.
- [8] 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;13(5):568–580.
- [9] 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;42(7):835–841.
- [10] 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;11(1):44–53.
- [11] Cai B, Rajendran K, Bay BH, Lee J, Yen CC. The effects of a functional three-dimensional (3D) printed knee joint simulator in improving anatomical spatial knowledge. *Anat Sci Educ* 2019;12(6):610–618.
- [12] Iwanaga J, Loukas M, Dumont AS, Tubbs RS. A review of anatomy education during and after the COVID-19 pandemic: revisiting traditional and modern methods to achieve future innovation. *Clin Anat* 2021;34(1):108–114.