South American Publishing

SAP Dentistry. 2026; 4:184
doi: 10.62486/dent2026184

ORIGINAL

3D-Printed Models A Proposal for Teaching Clinical Reasoning and Dental Treatment Planning

Modelos impresos en 3D una propuesta para el aprendizaje del razonamiento clínico y la planificación del tratamiento odontológico

Martín Eduardo Reyes Barrera[1] ✉, José Antonio Jerónimo Montes[1] ✉

[1]Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Mexico.

Cite as
Reyes Barrera ME, Jerónimo Montes JA. 3D-Printed Models A Proposal for Teaching Clinical Reasoning and Dental Treatment Planning. SAP Dentistry. 2026; 4:184. https://doi.org/10.62486/dent2026184

Publication History
Submitted: 22-01-2026
Revised: 18-03-2026
Accepted: 06-05-2026
Published: 07-05-2026

Corresponding Author
Martín Eduardo Reyes Barrera ✉

ABSTRACT

The incorporation of three-dimensional technologies in dental education represents an area of innovation with high formative potential. This article presents a pedagogical proposal for teaching clinical reasoning, dental pathology diagnosis, and treatment planning using 3D-printed models derived from DICOM data of cone beam computed tomography (CBCT) scans. The theoretical foundations of CBCT as a diagnostic tool in oral surgery are integrated with sociocultural learning frameworks, activity theory, the affordance concept, and Design Thinking methodology, configuring a three-dimensional Open Educational Resource (OER). The clinical-pedagogical experience is documented through a periapical surgical planning case, and learning activities based on the analysis of printed biomodels and clinical problem-solving are described. Results indicate that 3D biomodels foster anatomical knowledge appropriation, clinical skill development, and diagnostic thinking, constituting a theoretically grounded tool for health sciences education.

Keywords: 3D Printing; Cone Beam Computed Tomography (CBCT); Clinical Reasoning; Dental Diagnosis; Open Educational Resources; Biomodels; Health Sciences Education.

RESUMEN

La incorporación de tecnologías tridimensionales en la educación odontológica representa un área de innovación con alto potencial formativo. Este artículo presenta una propuesta pedagógica para la enseñanza del razonamiento clínico, el diagnóstico de patologías dentales y la planificación del tratamiento odontológico mediante el uso de modelos impresos en 3D obtenidos a partir de datos DICOM de tomografías computarizadas de haz cónico (CBCT). Se integran los fundamentos de la tomografía computarizada como auxiliar diagnóstico en cirugía bucal con los marcos teóricos del aprendizaje sociocultural, la teoría de la actividad, el concepto de affordance y la metodología de Design Thinking, configurando un Recurso Educativo Abierto (REA) tridimensional. Se documenta la experiencia clínico-pedagógica a través de un caso de planificación quirúrgica periapical y se describen actividades de aprendizaje basadas en el análisis de biomodelos impresos y la resolución de problemas clínicos. Los resultados muestran que los biomodelos 3D favorecen la apropiación de conocimientos anatómicos, el desarrollo de habilidades clínicas y el pensamiento diagnóstico, constituyendo una herramienta con sólido sustento para la enseñanza en ciencias de la salud.

Palabras clave: Impresión 3D; Tomografía Computarizada de Haz Cónico (CBCT); Razonamiento Clínico; Diagnóstico Odontológico; Recursos Educativos Abiertos; Biomodelos; Enseñanza en Salud.

© 2026; The Authors. This Open access article is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUCCIÓN

La educación odontológica contemporánea enfrenta el desafío de preparar profesionales capaces de razonar clínicamente ante escenarios complejos, tomar decisiones diagnósticas fundamentadas y planificar tratamientos con criterio científico. Sin embargo, los métodos pedagógicos tradicionales, centrados en la transmisión de información bidimensional y la observación de procedimientos, resultan insuficientes para desarrollar las competencias espaciales, analíticas y procedimentales que la clínica odontológica actual exige.

En este contexto, la convergencia de dos líneas de desarrollo —la tecnología diagnóstica avanzada y la innovación educativa— abre posibilidades inéditas. Por un lado, la Tomografía Computarizada de Haz Cónico (CBCT) ha revolucionado el diagnóstico en cirugía bucal al ofrecer reconstrucciones tridimensionales de alta resolución con dosis de radiación significativamente menores que la tomografía médica convencional.[1] Por otro, la impresión 3D permite materializar esas reconstrucciones virtuales en modelos físicos —biomodelos— que pueden ser manipulados, analizados y utilizados como instrumentos pedagógicos tangibles.[2]

La propuesta que aquí se presenta articula estas dos vertientes tecnológicas dentro de un marco teórico-pedagógico sólido: la teoría sociocultural del aprendizaje,[3,4] la teoría de la actividad,[5,6] el concepto de affordance[7,8] y la metodología de Design Thinking.[9] El objetivo es demostrar que los biomodelos impresos en 3D, derivados de estudios tomográficos de casos clínicos reales, constituyen Recursos Educativos Abiertos (REA) con alto potencial para el aprendizaje del razonamiento clínico, el diagnóstico de patologías dentales y la planificación del tratamiento odontológico.

El artículo expone tras este apartado introductorio, el marco teórico y los antecedentes conceptuales; a continuación se describe la metodología seguida para el diseño pedagógico y el flujo de trabajo tecnológico; posteriormente se exponen los resultados a través de un caso clínico ilustrativo; y finalmente se discuten las implicaciones pedagógicas y se ofrecen las conclusiones.

Marco Teórico y Antecedentes

Tecnología tridimensional y educación en ciencias de la salud

El sector educativo ha sido profundamente impactado por los avances tecnológicos, aunque la asimilación de las tecnologías en las prácticas docentes no ha avanzado al mismo ritmo que el equipamiento institucional. Crovi[10] documenta cómo, lejos de transformar las dinámicas pedagógicas, los actores educativos suelen adaptar las tecnologías emergentes a las prácticas docentes tradicionales, produciendo un estancamiento que no aprovecha el potencial formativo disponible. En el campo de la odontología, este fenómeno es especialmente notorio: la práctica clínica ha incorporado tecnología tridimensional de forma acelerada, pero la formación universitaria no siempre ha dado el mismo paso.

La integración de tecnologías 3D en la educación odontológica —incluidas la CBCT, el software de planificación quirúrgica y la impresión tridimensional— responde a una necesidad formativa concreta: dotar al estudiante de las competencias perceptivo-espaciales y de razonamiento diagnóstico que solo pueden desarrollarse a través de la interacción directa con representaciones fidedignas de la anatomía real. En este sentido, los biomodelos impresos en 3D a partir de datos tomográficos no son meros modelos anatómicos genéricos, sino instrumentos pedagógicos que reproducen la complejidad particular de casos clínicos específicos.

Fundamentos socioculturales del aprendizaje con REA 3D

Siguiendo los postulados vygotskianos, Wertsch[4] sostiene que cuando se introduce una nueva herramienta en el proceso de aprendizaje, el sentido de pertenencia del sujeto evoluciona y los límites de sus acciones se transforman en función del contexto que la herramienta configura. Los biomodelos 3D actúan precisamente como estos artefactos mediadores: no se limitan a representar estructuras anatómicas, sino que reorganizan la actividad cognitiva del estudiante al obligarlo a razonar en tres dimensiones, a reconocer la relación espacial entre estructuras, y a trasladar ese conocimiento al plano de la decisión clínica.

Leóntiev[6] distingue tres niveles de análisis en la actividad humana: el nivel superior de las actividades y motivaciones, el nivel intermedio de las acciones y metas, y el nivel inferior de las operaciones. Aplicado al contexto educativo con REA 3D, el nivel superior corresponde a la motivación de aprender a diagnosticar y planificar tratamientos; el intermedio, a las acciones concretas de análisis del biomodelo, identificación de patologías y toma de decisiones; y el inferior, a las operaciones de manipulación física del modelo, lectura de imágenes tomográficas y uso del software de planificación.

El concepto de apropiación, analizado por Crovi[10] desde los aportes de Vygotsky y Leóntiev, resulta central en este enfoque: la incorporación de los REA 3D no puede reducirse a su presencia física en el aula, sino que exige un proceso de interiorización mediante el cual los instrumentos externos se transforman en herramientas cognitivas del aprendiz. Este proceso es, al mismo tiempo, individual y social, y está condicionado por las prácticas culturales y las condiciones materiales en que se produce.

Affordances de los biomodelos 3D

El concepto de affordance, introducido por Gibson[7,8], hace referencia a las posibilidades de acción que un objeto o artefacto ofrece a quien interactúa con él. En el campo educativo, las affordances cognitivas de los biomodelos 3D son múltiples: permiten la percepción háptica de la morfología dental y ósea, facilitan la identificación de lesiones periapicales, posibilitan la medición y comparación de estructuras, y constituyen un soporte para la discusión clínica entre estudiantes y docentes.

Overdijk et al.[11], citados en el contexto de los REA 3D, subrayan que las affordances no son propiedades fijas del artefacto, sino que emergen de la relación entre el aprendiz, el artefacto y el contexto sociocultural. Esto implica que el biomodelo impreso en 3D no tiene, por sí mismo, un valor pedagógico intrínseco: su potencial se actualiza cuando el diseño de las actividades de aprendizaje permite al estudiante explorar, manipular, analizar y discutir la información que el modelo contiene. En este sentido, el diseño pedagógico es tan determinante como la calidad técnica del biomodelo.

La CBCT como herramienta diagnóstica y fuente de datos para biomodelos

La Tomografía Computarizada de Haz Cónico (CBCT) ha emergido como herramienta diagnóstica indispensable en la cirugía periapical y en múltiples especialidades odontológicas, superando las limitaciones de las radiografías bidimensionales convencionales.[12] A diferencia de la tomografía médica tradicional, la CBCT utiliza un haz de rayos X en forma de cono que captura un volumen completo de datos en una sola rotación, permitiendo la reconstrucción de imágenes tridimensionales con una dosis de radiación significativamente menor y una resolución espacial superior para estructuras dentales y maxilofaciales.[1]

Las aplicaciones diagnósticas de la CBCT en cirugía periapical son múltiples: permite identificar y delimitar con exactitud la extensión de lesiones periapicales —incluidos quistes y granulomas— que pueden no ser visibles o estar subestimadas en radiografías 2D;[13] proporciona una visión detallada de la morfología radicular y la configuración de los conductos;[14] localiza estructuras anatómicas críticas como el conducto mandibular, el foramen mentoniano y el seno maxilar;[15] y permite detectar las causas de fracaso del tratamiento endodóntico previo.[12]

Crucialmente para la propuesta educativa que aquí se presenta, los datos generados por la CBCT se almacenan en formato DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), que es el estándar internacional para la comunicación e intercambio de imágenes médicas. Estos datos pueden ser procesados mediante software especializado para generar biomodelos virtuales tridimensionales que, posteriormente, pueden materializarse mediante impresión 3D. Este flujo de trabajo —de la imagen tomográfica al biomodelo físico— es el núcleo tecnológico de la propuesta pedagógica.

MÉTODO

Enfoque metodológico general

La metodología principal es de enfoque constructivista, lo que permite a los estudiantes crear significados y explorar a partir de su propia experiencia. El diseño pedagógico integra el aprendizaje basado en problemas, el estudio de casos clínicos y el trabajo colaborativo, promoviendo un espíritu de colaboración entre docentes y alumnos de módulos académicos que abarcan áreas básicas, clínicas y sociales. Se retoma el enfoque preventivo y comunitario con el fin de formar aprendices con un perfil indagador y crítico.

El diseño de los Recursos Educativos Abiertos (REA) 3D sigue la metodología de Design Thinking, que considera las siguientes etapas de implementación: empatizar (identificar las necesidades del aprendiz), definir (establecer el problema pedagógico), idear (generar soluciones creativas), prototipar (diseñar y producir los biomodelos) e implementar (integrar los biomodelos en actividades de aprendizaje). Esta metodología, inspirada en el modelo de diseño centrado en el ser humano (IDEO), mantiene al aprendiz en el centro de todo el proceso y promueve la empatía entre todos los participantes.[9]

Introducción a los Recursos 3D en Cirugía Periapical

La evolución constante en el campo de la odontología exige a los profesionales no solo la adquisición de nuevas habilidades técnicas, sino también la implementación de estrategias de aprendizaje efectivas y la adhesión rigurosa a las buenas prácticas clínicas. En este contexto, la cirugía periapical, un procedimiento crucial para la preservación dental ante patologías periapicales refractarias al tratamiento endodóntico convencional,[16] ha experimentado una transformación significativa. Tradicionalmente, su ejecución se basaba en la experiencia del cirujano y en la interpretación de imágenes bidimensionales,[17] lo que implicaba una curva de aprendizaje empírica y, en ocasiones, limitaciones en la predictibilidad.

La integración de tecnologías tridimensionales (3D) representa un paradigma de innovación que no solo mejora la precisión y seguridad de los procedimientos, sino que también optimiza el proceso de aprendizaje y la aplicación de buenas prácticas. La Tomografía Computarizada de Haz Cónico (CBCT), como herramienta diagnóstica principal, proporciona una visualización detallada de la anatomía compleja, permitiendo una comprensión espacial que trasciende las limitaciones de las radiografías convencionales.[13] Esta capacidad de visualización avanzada no solo es una herramienta diagnóstica, sino también una poderosa estrategia de aprendizaje visual y espacial para el cirujano, facilitando la construcción de modelos mentales precisos antes de la intervención real.

Complementariamente, el software de planificación quirúrgica y la impresión 3D para la creación de modelos anatómicos y guías quirúrgicas, se erigen como pilares de las buenas prácticas clínicas contemporáneas. Estas herramientas permiten una planificación preoperatoria exhaustiva y la simulación de procedimientos, lo que se alinea con principios de seguridad del paciente, minimización de riesgos y optimización de resultados.[15] La capacidad de practicar virtualmente y de transferir esa planificación a una guía física impresa en 3D no solo reduce el error humano, sino que también constituye una estrategia de aprendizaje basada en la simulación y la repetición deliberada, fundamental para el desarrollo de la competencia quirúrgica.

El presente artículo tiene como objetivo explorar la aplicación de la CBCT y la impresión 3D como auxiliares de diagnóstico y planificación en cirugía bucal, presentando un caso clínico que ilustra su impacto. Se argumenta que estas tecnologías no solo son avances técnicos, sino que son catalizadores para la implementación de buenas prácticas, promoviendo la seguridad del paciente, la predictibilidad del tratamiento y la mejora continua a través de estrategias de aprendizaje innovadoras en el ámbito de la cirugía periapical.

Tomografía Computarizada de Haz Cónico (CBCT) en Cirugía Periapical

La Tomografía Computarizada de Haz Cónico (CBCT, por sus siglas en inglés) ha emergido como una herramienta de diagnóstico y planificación indispensable en la cirugía periapical, superando las limitaciones de las radiografías bidimensionales convencionales.[12] A diferencia de la tomografía computarizada médica tradicional, la CBCT utiliza un haz de rayos X en forma de cono que captura un volumen completo de datos en una sola rotación, lo que permite la reconstrucción de imágenes tridimensionales con una dosis de radiación significativamente menor y una resolución espacial superior para estructuras dentales y maxilofaciales.[1]

Usos de la CBCT en Cirugía Periapical los usos de la CBCT en el contexto de la cirugía periapical son variados y cruciales para el éxito del tratamiento:

- Diagnóstico preciso de lesiones periapicales: la CBCT permite identificar y delimitar con exactitud la extensión de las lesiones periapicales, incluyendo quistes y granulomas, que pueden no ser visibles o estar subestimados en radiografías 2D.[13] También es fundamental para detectar la presencia de reabsorciones radiculares externas o internas, fracturas radiculares o perforaciones que complican el pronóstico.[12]
- Evaluación de la anatomía radicular y ósea: proporciona una visión detallada de la morfología de las raíces, el número y la configuración de los conductos radiculares, y la presencia de conductos accesorios o istmos, que son críticos para la planificación de la resección apical.[14] Además, permite evaluar la calidad y cantidad del hueso circundante, lo cual es importante para la regeneración ósea guiada si es necesaria.
- Localización de estructuras anatómicas críticas: la CBCT es invaluable para identificar la proximidad de estructuras anatómicas vitales como el conducto mandibular, el foramen mentoniano, el seno maxilar y el conducto nasopalatino. Esta información es esencial para evitar complicaciones intraoperatorias y postoperatorias, como parestesias o perforaciones sinusales.[15]
- Detección de causas de fracaso del tratamiento endodóntico previo: permite identificar la presencia de materiales de obturación deficientes, instrumentos fracturados, conductos no tratados o calcificaciones que pueden ser la causa del fracaso del tratamiento endodóntico inicial y que requieren una intervención quirúrgica.[12]

Manejo de la CBCT en Cirugía Periapical

El manejo de la CBCT implica varias etapas, desde la adquisición de la imagen hasta su interpretación y aplicación clínica:

- Adquisición de la imagen: se selecciona un campo de visión (FOV, por sus siglas en inglés) adecuado para la región de interés, minimizando la exposición a la radiación. La calidad de la imagen depende de factores como el tamaño del vóxel, el tiempo de exposición y la corriente del tubo (mA).[1]
- Software de visualización y análisis: una vez adquirida, la imagen CBCT se exporta a un software especializado que permite la visualización en planos axiales, coronales y sagitales, así como reconstrucciones 3D. Estos programas ofrecen herramientas para medir distancias, ángulos, densidades óseas y para segmentar estructuras anatómicas.[15]
- Interpretación: la interpretación de las imágenes CBCT requiere un conocimiento profundo de la anatomía radiológica y de la patología. Se evalúan las características de la lesión, la relación con estructuras adyacentes, la presencia de anomalías radiculares y la calidad del tratamiento endodóntico previo.[12]

Aplicaciones de la CBCT en Cirugía Periapical

Las aplicaciones de la CBCT se extienden a lo largo de todo el proceso quirúrgico:

- Planificación preoperatoria: permite al cirujano planificar con precisión la ubicación y el tamaño de la osteotomía, la angulación de la resección apical y la profundidad de la preparación del conducto radicular retrógrado. Esto reduce el tiempo quirúrgico y mejora la predictibilidad del resultado.[18]
- Diseño de guías quirúrgicas: los datos de la CBCT se pueden utilizar para diseñar y fabricar guías quirúrgicas impresas en 3D. Estas guías permiten una osteotomía y una resección apical mínimamente invasivas y altamente precisas, especialmente en casos complejos o en proximidad a estructuras vitales.[2]
- Evaluación postoperatoria: aunque no se recomienda de rutina debido a la exposición a la radiación, en casos seleccionados, la CBCT puede ser útil para evaluar la curación ósea, la calidad del sellado retrógrado y la resolución de la lesión periapical después de la cirugía.[15]

En resumen, la CBCT ha transformado la cirugía periapical al proporcionar una visión tridimensional sin precedentes, lo que conduce a un diagnóstico más preciso, una planificación más segura y una ejecución más eficiente del tratamiento.

Software de Planificación Quirúrgica en Cirugía Periapical

El software de planificación quirúrgica representa una herramienta digital avanzada que permite a los profesionales de la odontología visualizar, analizar y planificar procedimientos complejos, como la cirugía periapical, antes de realizarlos en el paciente.[15] Estos programas utilizan los datos tridimensionales obtenidos de la Tomografía Computarizada de Haz Cónico (CBCT) para crear un modelo virtual detallado de la anatomía del paciente, facilitando una planificación precisa y personalizada.

Usos del Software de Planificación en Cirugía Periapical

El software de planificación ofrece múltiples funcionalidades que optimizan la preparación y ejecución de la cirugía periapical:

- Visualización 3D interactiva: permite al cirujano rotar, seccionar y magnificar la región de interés en tres dimensiones, proporcionando una comprensión profunda de la anatomía radicular, la extensión de la lesión periapical y la relación con estructuras anatómicas críticas.[12] Esta visualización es fundamental para identificar posibles desafíos y planificar estrategias para superarlos.
- Mediciones precisas: el software facilita la realización de mediciones exactas de distancias, ángulos y volúmenes. Esto incluye la medición de la longitud de la raíz, el tamaño de la lesión, la distancia a estructuras vitales (como el conducto mandibular o el seno maxilar) y la angulación ideal para la resección apical.[2]

- Simulación de procedimientos: algunos programas permiten simular la osteotomía, la resección apical y la preparación de la cavidad retrógrada. Esta simulación virtual ayuda al cirujano a practicar el procedimiento, evaluar diferentes enfoques y anticipar posibles complicaciones, mejorando la confianza y la eficiencia durante la cirugía real.[18]
- Diseño de guías quirúrgicas: una de las aplicaciones más importantes del software de planificación es la capacidad de diseñar guías quirúrgicas personalizadas. Basándose en la planificación virtual, el software genera un archivo digital (generalmente en formato STL) que puede ser utilizado para la fabricación de una guía física mediante impresión 3D.[2]

Manejo del Software de Planificación en Cirugía Periapical

El manejo efectivo del software de planificación implica varios pasos clave:

- Importación de datos CBCT: el primer paso es cargar los datos DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) de la CBCT del paciente en el software.
- Segmentación y reconstrucción: el software procesa estos datos para segmentar y reconstruir las estructuras anatómicas relevantes, como los dientes, el hueso alveolar, las lesiones y las estructuras críticas. Algunos programas ofrecen herramientas de segmentación automática, mientras que otros requieren una segmentación manual o semiautomática.[15]
- Planificación virtual: una vez que las estructuras están definidas, el cirujano utiliza las herramientas del software para planificar el procedimiento. Esto incluye la definición de la trayectoria de acceso, la extensión de la osteotomía, la angulación y profundidad de la resección apical, y la ubicación de la preparación retrógrada.
- Exportación de datos para fabricación: si se va a utilizar una guía quirúrgica, el diseño final se exporta en un formato compatible con la impresión 3D, como STL.

Aplicaciones del Software de Planificación en Cirugía Periapical

Las aplicaciones del software de planificación se traducen en beneficios tangibles para el paciente y el cirujano:

- Mayor precisión y predictibilidad: al permitir una planificación detallada y la simulación del procedimiento, el software reduce la incertidumbre y aumenta la precisión de la cirugía, lo que se traduce en mejores resultados clínicos.[18]
- Reducción de complicaciones: la identificación preoperatoria de estructuras anatómicas críticas y la planificación de trayectorias seguras minimizan el riesgo de daño a nervios, vasos sanguíneos o el seno maxilar.[15]
- Procedimientos mínimamente invasivos: la planificación precisa permite realizar osteotomías más pequeñas y dirigidas, lo que reduce el trauma tisular, el dolor postoperatorio y acelera la recuperación del paciente.[16]
- Optimización del tiempo quirúrgico: una planificación exhaustiva reduce el tiempo necesario en el quirófano, ya que el cirujano tiene una hoja de ruta clara y ha anticipado los pasos del procedimiento.

Caso clínico

A continuación, presentaremos un caso clínico de una impresión en 3d, y como puede ayudar a realizar una planeación de un caso complejo.

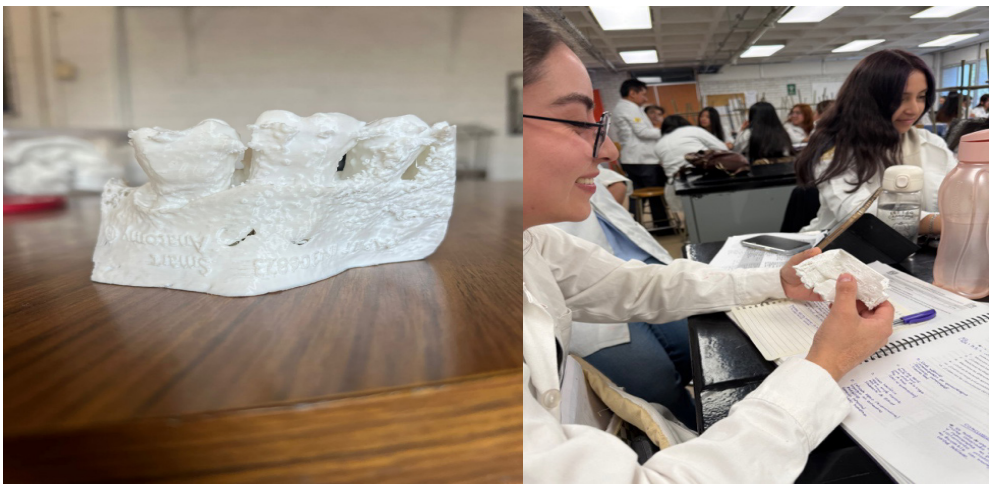

Figura 1. Vista lateral oblicua externa

Se observa el segmento posterior del maxilar superior con dos órganos dentarios posteriores erupcionados.

Se distingue claramente la morfología coronaria de ambos molares con cúspides definidas y superficie oclusal conservada.

Las raíces muestran disposición divergente, destacando una raíz de mayor volumen compatible con raíz palatina y dos raíces de menor calibre correspondientes a las vestibulares.

En la tabla cortical vestibular se aprecia irregularidad superficial y un defecto localizado compatible con fenestración ósea.

No se observan deformaciones expansivas del contorno óseo externo.

Figura 2. Vista oclusal

Se observan las superficies oclusales de los molares con anatomía cuspídea bien definida.
Los surcos principales son visibles y no se aprecian fracturas coronarias en la estructura impresa.
El reborde alveolar mantiene continuidad estructural sin evidencia de colapso.

Figura 3. Vista posterior del seno

Se aprecia la amplitud de la cavidad sinusal y la proyección radicular hacia su piso. La concavidad inferior del seno es pronunciada, descendiendo entre las raíces.

Se confirma la estrecha relación anatómica entre el sistema radicular y la cavidad sinusal, con espesor óseo reducido en la región interradicular.

No se observan alteraciones expansivas externas en el contorno óseo posterior.

Innovación: Biomodelos 3D como Recurso Educativo Abierto

La CBCT como fuente de información pedagógica

La innovación central de esta propuesta reside en la transformación de un estudio diagnóstico —la CBCT— en un recurso pedagógico tridimensional manipulable. Este proceso no solo preserva la información clínica relevante del estudio original, sino que la hace accesible y significativa para el aprendiz a través de un nuevo canal sensorial: la percepción háptica y la manipulación espacial del biomodelo impreso.

El software de planificación quirúrgica, al procesar los datos CBCT, permite al docente-diseñador seleccionar las estructuras anatómicas de mayor relevancia educativa, ajustar el nivel de detalle del biomodelo en función de los objetivos de aprendizaje, y crear variaciones del mismo caso que enfaticen distintos aspectos diagnósticos. Esta capacidad de personalización pedagógica diferencia cualitativamente a los biomodelos derivados de CBCT de los modelos anatómicos genéricos disponibles comercialmente.

Potencial para el desarrollo del razonamiento clínico

El razonamiento clínico en odontología implica la integración de información proveniente de múltiples fuentes —historia clínica, exploración intraoral, estudios de imagen— para elaborar un diagnóstico diferencial y seleccionar la estrategia terapéutica más adecuada. Este proceso cognitivo complejo requiere, entre otras habilidades, la capacidad de representación espacial: comprender cómo una lesión se extiende en las tres dimensiones del espacio, cómo se relaciona con las estructuras vecinas, y cuáles son las implicaciones de esa relación para el tratamiento.

Los biomodelos 3D derivados de CBCT ofrecen una plataforma privilegiada para el desarrollo de esta habilidad. Al permitir que el estudiante sostenga en sus manos una reproducción fiel de la anatomía de un caso real, observarla desde múltiples ángulos, identificar sus particularidades y razonar sobre sus implicaciones clínicas, el biomodelo actúa como un puente entre la información

abstracta de las imágenes tomográficas y la comprensión concreta que la práctica clínica exige.

La investigación en educación médica ha documentado consistentemente que la exposición a representaciones tridimensionales mejora la comprensión anatómica[2] y que el aprendizaje activo —en el que el estudiante manipula, analiza y discute— produce aprendizajes más duraderos y transferibles que la instrucción pasiva. Los biomodelos 3D, integrados en actividades de aprendizaje bien diseñadas, reúnen estas características.

El software de planificación como recurso didáctico complementario

Además del biomodelo físico, el software de planificación quirúrgica utilizado para generar las reconstrucciones 3D puede ser incorporado directamente en las actividades educativas. La visualización 3D interactiva que ofrece este software —con herramientas para rotar, seccionar, magnificar y medir las estructuras anatómicas— complementa la experiencia háptica del biomodelo físico y permite al estudiante explorar dimensiones del caso que la impresión 3D no puede replicar, como las densidades óseas, la transparencia de los tejidos o la simulación de procedimientos quirúrgicos virtuales.

La combinación de biomodelo físico y visualización virtual configura un entorno de aprendizaje multimodal en el que el estudiante alterna entre la manipulación táctil del modelo y el análisis digital de las imágenes, enriqueciendo su comprensión del caso desde perspectivas complementarias. Este enfoque multimodal es coherente con los principios del aprendizaje multimedia y con las recomendaciones de la pedagogía emergente postpandémica.[19]

DISCUSIÓN

Coherencia entre el marco teórico y los resultados pedagógicos

Los resultados obtenidos son consistentes con los planteamientos teóricos que fundamentan la propuesta. Desde la perspectiva de la teoría sociocultural, la introducción de los biomodelos 3D como artefactos mediadores ha modificado la naturaleza de la actividad de aprendizaje: en lugar de recibir pasivamente información sobre la anatomía de un caso clínico, los estudiantes se convierten en agentes activos que exploran, analizan y construyen conocimiento a partir de la interacción con el objeto de estudio. Este proceso es coherente con la noción vigostkiana de aprendizaje mediado y con la perspectiva de la teoría de la actividad.[20,21,22]

La noción de affordance cognitiva resulta especialmente ilustrativa para explicar la riqueza pedagógica de los biomodelos 3D. Las posibilidades de acción que el modelo ofrece —rotar, comparar, medir, señalar, construir hipótesis diagnósticas— no están predeterminadas por el artefacto mismo, sino que emergen de la interacción entre el estudiante, el modelo y el contexto pedagógico diseñado. Esto subraya la importancia del diseño didáctico: un biomodelo de alta calidad técnica colocado en un entorno sin actividades estructuradas generará aprendizajes limitados.[23,24]

Implicaciones para la formación odontológica

La propuesta tiene implicaciones directas para la formación odontológica en al menos cuatro dimensiones. En primer lugar, en cuanto al desarrollo de competencias diagnósticas: la capacidad de identificar y caracterizar patologías a partir de imágenes tridimensionales es una competencia profesional cada vez más exigida por el ejercicio clínico contemporáneo. Los biomodelos 3D permiten desarrollar esta competencia en un entorno seguro, sin las restricciones de tiempo y responsabilidad clínica que impone el trabajo con pacientes reales.[25]

En segundo lugar, en relación con la seguridad del paciente: la planificación preoperatoria cuidadosa, apoyada en la información tridimensional que ofrece la CBCT y sus derivados impresos, contribuye significativamente a reducir el riesgo de complicaciones intraoperatorias y postoperatorias. Formar a los estudiantes en el uso de estas herramientas no es solo una actualización tecnológica, sino una inversión en la seguridad futura de los pacientes.

En tercer lugar, en cuanto al desarrollo de competencias para la educación continua: los profesionales formados en el uso de tecnología 3D estarán mejor preparados para incorporar las innovaciones tecnológicas que continúen emergiendo en el campo de la odontología, adoptando una actitud proactiva ante el aprendizaje permanente.[26]

En cuarto lugar, en relación con la equidad en el acceso a recursos de aprendizaje: los biomodelos diseñados como Recursos Educativos Abiertos pueden compartirse entre instituciones educativas, reduciendo las barreras de acceso a materiales de alta calidad y contribuyendo a democratizar la formación odontológica de excelencia.[27]

Limitaciones y desafíos

La propuesta no está exenta de limitaciones. En el plano logístico, la impresión 3D de calidad requiere equipamiento especializado, materiales específicos y tiempos de producción que deben ser compatibles con las dinámicas institucionales. La impresión en resina, que ofrece mayor calidad y detalle, exige condiciones estrictas de ventilación y protocolos de seguridad en la manipulación de los materiales. La gestión de estos recursos implica una planificación institucional que no siempre está disponible en todos los contextos educativos.

En el plano ético y legal, el uso de datos tomográficos de pacientes reales para la producción de biomodelos educativos requiere protocolos claros de consentimiento informado y anonimización de datos, en cumplimiento con las normativas de protección de datos personales y privacidad médica vigentes.

Finalmente, en el plano pedagógico, la eficacia de los biomodelos como herramientas de aprendizaje depende en gran medida de la calidad del diseño de las actividades en que se insertan. La simple disponibilidad del recurso no garantiza su aprovechamiento pedagógico; es necesario que los docentes cuenten con la formación y el apoyo necesarios para diseñar e implementar actividades que activen el potencial de los biomodelos como instrumentos de mediación cognitiva.

CONCLUSIONES

"La integración de la Tomografía Computarizada de Haz Cónico (CBCT) y las tecnologías de impresión 3D ha marcado un antes y un después en la cirugía periapical, transformando un procedimiento tradicionalmente dependiente de la experiencia del cirujano y la visualización bidimensional, en una práctica guiada por la precisión digital y la predictibilidad.

Como se ha evidenciado en el caso clínico presentado, la capacidad de la CBCT para ofrecer una visualización tridimensional detallada de la anatomía radicular, la extensión de la lesión periapical y la relación con estructuras anatómicas críticas, como el seno maxilar, es invaluable. Las imágenes (Imagen 1, Imagen 4, Imagen 5) ilustran cómo la morfología coronaria, la disposición radicular divergente, la fenestración ósea y la estrecha relación con la cavidad sinusal, que serían difíciles de apreciar con métodos convencionales, se hacen patentes. Esta comprensión profunda es el pilar para una planificación quirúrgica exhaustiva y personalizada.

El software de planificación quirúrgica, al procesar estos datos CBCT, permite al profesional simular el procedimiento, realizar mediciones exactas y diseñar guías quirúrgicas impresas en 3D. Estas herramientas no solo optimizan la preparación preoperatoria, sino que son fundamentales para adherirse a las buenas prácticas clínicas. Contribuyen significativamente a:

Mejorar la seguridad del paciente al minimizar los riesgos de daño a estructuras vitales y reducir la exposición a la radiación mediante la optimización del campo de visión.

Aumentar la precisión y predictibilidad del tratamiento, lo que se traduce en tasas de éxito más elevadas y resultados clínicos superiores.

Facilitar procedimientos mínimamente invasivos, disminuyendo el trauma tisular, el dolor postoperatorio y acelerando la recuperación del paciente.

Optimizar el tiempo quirúrgico y los recursos, al proporcionar una hoja de ruta clara y anticipar posibles desafíos.

En resumen, la CBCT y la impresión 3D no son meras innovaciones tecnológicas; son herramientas esenciales que elevan el estándar de atención en la cirugía periapical. Su adopción representa un compromiso con las buenas prácticas, permitiendo a los profesionales abordar casos complejos con mayor confianza, ofrecer tratamientos más seguros y eficientes, y, en última instancia, mejorar significativamente la calidad de vida de los pacientes."

El proceso de apropiación de los REA 3D, como ha señalado la investigación pedagógica revisada, no puede darse si no se experimenta con rigor la propia actividad educativa: analizando casos clínicos de relevancia profesional, resolviendo problemas que integran conocimientos de áreas básicas y los aplican en contextos clínicos, y participando en comunidades de aprendizaje que fomenten la colaboración y la reflexión crítica. En este sentido, los biomodelos 3D son no solo herramientas tecnológicas, sino catalizadores de una transformación pedagógica más profunda.

Las líneas de trabajo futuro incluyen la evaluación sistemática del impacto de los biomodelos en el aprendizaje del razonamiento clínico mediante instrumentos de medición validados, la incorporación de entornos inmersivos virtuales que complementen la experiencia con los modelos físicos, la expansión del repertorio de casos a otras especialidades odontológicas, y la construcción de repositorios de REA 3D de acceso abierto que beneficien a la comunidad educativa de la odontología en el ámbito hispanohablante.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación, proyecto PAPIME PE202124 titulado "Aprendizaje Mediado por Recursos Digitales Abiertos 3D y la Integración de los Conocimientos de las áreas básicas con el área clínica".

FINANCIACIÓN

Este trabajo fue apoyado por el Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME PE202124).

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguna.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Martín Eduardo Reyes Barrera, José Antonio Jerónimo Montes.
Curación de datos: Martín Eduardo Reyes Barrera, José Antonio Jerónimo Montes.
Análisis formal: Martín Eduardo Reyes Barrera, José Antonio Jerónimo Montes.
Redacción – borrador original: Martín Eduardo Reyes Barrera, José Antonio Jerónimo Montes.
Redacción – revisión y edición: Martín Eduardo Reyes Barrera, José Antonio Jerónimo Montes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone beam computed tomography in dental practice. Journal of the Canadian Dental Association. 2012;78:c35.

2. Kim D, Kim S, Kim E, Kim S. Clinical application of 3D printing in endodontic surgery: A systematic review. Journal of Endodontics. 2018;44(11):1633-1640. https://doi.org/10.1016/j.joen.2018.07.016

3. Vygotski LS. El problema del desarrollo de las funciones psíquicas. In: Vygotski LS. Historia del desarrollo de las funciones psíquicas superiores, Obras Escogidas III. Aprendizaje Visor; 1995. p. 11-46. (Original work published 1931)

4. Wertsch JV. La mente en acción. Aique; 1998.

5. Engeström Y. Learning by expanding: An activity theoretical approach to developmental research. Orienta-Consultit; 1987.

6. Leóntiev AN. Activity, consciousness, and personality. Prentice Hall; 1978.

7. Gibson JJ. The theory of affordances. In: Shaw R, Bransford J, editors. Perceiving, acting, and knowing: Toward an ecological psychology. Lawrence Erlbaum; 1977. p. 67-82.

8. Gibson JJ. The ecological approach to visual perception. Lawrence Erlbaum; 1986.

9. Chin DB, Blair KP, Wolf RC, Conlin LD, Cutumisu M, Pfaffman J, et al. Educating and measuring choice: A test of the transfer of design thinking in problem solving and learning. Journal of the Learning Sciences. 2019;28(3):337-380. https://doi.org/10.1080/10508406.2019.1570933

10. Crovi Druetta D. Repensar la apropiación desde la cultura digital. In: Morales S, Loyola MI, editors. Nuevas perspectivas en los estudios de comunicación: Apropiación tecno-mediática. Imago Mundi; 2013. p. 11-23. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4635814

11. Overdijk M, Van Diggelen W, Kirschner PA, Baker M. Connecting agents and artefacts in learning design. In: Jimoyiannis A, editor. Research on e-learning and ICT in education. Springer; 2012. p. 115-128.

12. Patel S, Durack C, Abella F, Shemesh H, Roig M, Lemberg K. Cone beam computed tomography in Endodontics: A review. International Endodontic Journal. 2015;48(1):1-15. https://doi.org/10.1111/iej.12270

13. Estrela C, Bueno MR, Leles FA, Azevedo B, Azevedo JR. Accuracy of cone beam computed tomography and panoramic and periapical radiography for detection of apical periodontitis. Journal of Endodontics. 2008;34(3):273-279. https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.11.023

14. Venskutonis T, Plotino G, Gambarini G, Juodzbalys G. The effect of a new self-adjusting file on the root canal wall: A scanning electron microscopy study. Journal of Endodontics. 2014;40(1):123-127. https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.10.001

15. Bornstein MM, Scarfe WC, Ludlow JB. Cone beam computed tomography in endodontics: A review on clinical applications and research trends. International Endodontic Journal. 2014;47(1):1-15. https://doi.org/10.1111/iej.12209

16. Kim S, Kratchman SI. Modern endodontic surgery concepts and practice: A review. Journal of Endodontics. 2006;32(7):601-623. https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.12.004

17. Torabinejad M, Corr R, Handysides R, Shabahang S. Outcomes of nonsurgical retreatment and endodontic surgery: A systematic review. Journal of Endodontics. 2009;35(7):930-937. https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.04.023

18. Setzer FC, Kim S. Comparison of long-term survival of implants and endodontically treated teeth. Journal of Dental Research. 2014;93(1):19-26. https://doi.org/10.1177/0022034513504782

19. Martín-Gutiérrez Á, Noguera MDD, Hervás-Gómez C, Pérez GM. Escenarios de adaptación al aprendizaje digital postpandemia desde la perspectiva del alumnado universitario. In: Tecnologías emergentes y pedagogía de la innovación. Dykinson; 2023. p. 225-245. https://reunir.unir.net/handle/123456789/16415

20. Pickering A. The mangle of practice: Agency and emergence in the sociology of science. American Journal of Sociology. 1993;99(3):559-589. https://doi.org/10.1086/230316

21. Rua EB, Jiménez GA, Gutiérrez NI, Villamizar. 3D printing as a didactic tool for teaching some engineering and design concepts. Ingeniería. 2018;23(1):70-83. https://doi.org/10.14483/23448393.12248

22. Vygotsky LS. El desarrollo de los procesos psicológicos superiores. Grijalbo; 1979.

23. Torres Velandia SÁ, Jerónimo Montes JA. Recursos educativos abiertos, retos y oportunidades en tiempos de pandemia: Estudio de caso, México. RECIE. Revista Electrónica Científica de Investigación Educativa. 2021;5(2):199-214. https://doi.org/10.33010/recie.v5i2.1439

24. Kuutti K. The concept of activity as a basic unit of analysis for CSCW research. In: Proceedings of CSCW '91. ACM; 1991. p. 249-264.

25. Kuutti K, Arvonen T. Identifying potential CSCW applications by means of activity theory concepts: A case example. In: Proceedings of CSCW '92. ACM; 1992. p. 233-240.

26. Engeström Y. Developmental studies of work as a testbench of activity theory: The case of primary care medical practice. In: Chaiklin S, Lave J, editors. Understanding practice: Perspectives on activity and context. Cambridge University Press; 1993. p. 64-103.

27. Arievitch IM. Exploring the links between external and internal activity from a cultural-historical perspective. In: van Oers B, Wardekker W, Elbers E, van der Veer R, editors. The transformation of learning: Advances in cultural-historical activity theory. Cambridge University Press; 2009. p. 38-57.