



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE SALUD Y BIENESTAR

CARRERA DE ODONTOLOGÍA

**INNOVACIÓN ODONTOLÓGICA: IMPRESIÓN 3D DE
DIENTES CANINOS PARA MEJORAR LA FORMACIÓN
ENDODÓNTICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE ODONTÓLOGO**

AUTOR: MATEO LEONIDAS FLORES SACOTO

DIRECTOR: OD. ESP. PAOLA ALEXANDRA DURAN NEIRA

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE SALUD Y BIENESTAR

CARRERA DE ODONTOLOGÍA

**INNOVACIÓN ODONTOLÓGICA: IMPRESIÓN 3D DE DIENTES
CANINOS PARA MEJORAR LA FORMACIÓN ENDODÓNTICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE ODONTÓLOGO**

AUTOR: MATEO LEONIDAS FLORES SACOTO

DIRECTOR: OD. ESP. PAOLA ALEXANDRA DURAN NEIRA

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Innovación odontológica: impresión 3d de dientes caninos para mejorar la formación endodóntica

Dental Innovation: A 3D Printing of Canine Teeth to Improve Endodontic Training

RESUMEN

Introducción: La odontología ha evolucionado con la impresión 3D, permitiendo una planificación quirúrgica precisa y la creación de modelos dentales tridimensionales para prácticas educativas y profesionales. Este estudio explora la fabricación de dientes caninos sintéticos impresos en 3D para prácticas de endodoncia. **Metodología:** Se realizó un estudio experimental para evaluar dientes artificiales impresos en 3D en comparación con dientes reales, utilizando CBCT y tecnología de impresión 3D. Se seleccionó un paciente adulto con dentición completa y saludable. Se reconstruyeron los dientes con software especializado y se imprimieron prototipos en resina fotosensible. Estos prototipos fueron evaluados clínicamente y se realizaron pruebas endodónticas, incluyendo la preparación y obturación del conducto, para comprobar su idoneidad en condiciones simuladas. **Resultados:** Los prototipos mostraron alta precisión morfológica y resistencia mecánica adecuada, aunque con algunas variaciones en la anatomía del conducto radicular. La conformación de cavidad, conductometría y preparación químico-mecánica fueron efectivas, aunque se observó fragilidad en el tercio apical. La obturación con gutapercha fue exitosa, concluyendo el tratamiento endodóntico de manera eficaz. **Discusión:** La impresión 3D en endodoncia ofrece modelos dentales precisos para planificación y educación, mejorando la práctica clínica. Aunque hay diferencias con dientes naturales, la tecnología muestra potencial en enseñanza. **Conclusión:** Los dientes caninos impresos en 3D para endodoncia son precisos y personalizables, pero tienen limitaciones en la morfología interna y fragilidad apical. Su uso mejora la experiencia educativa y clínica, requiriendo más investigación para optimizar resultados.

Palabras Clave: Impresión tridimensional, diente canino, endodoncia, modelos dentales, diente artificial.

ABSTRACT

Introduction: Dentistry has evolved with 3D printing, enabling accurate surgical planning and the creation of three-dimensional dental models for educational and professional practices. This study explores the fabrication of 3D-printed synthetic canine teeth for endodontic practices. **Methodology:** An experimental study was conducted to evaluate 3D printed artificial teeth compared to real teeth, using Cone beam computed tomography (CBCT) and 3D printing technology. An adult patient with complete and healthy dentition was selected. The teeth were reconstructed with specialized software, and prototypes were printed using photosensitive resin. These prototypes were clinically evaluated; endodontic tests, including canal preparation and obturation, were performed to check their suitability under simulated conditions. **Results:** The prototypes showed high morphological precision and adequate mechanical resistance, although with some variations in the root canal anatomy. Cavity shaping, conductometry, and chemical-mechanical preparation were effective, although fragility was observed in the apical third. Gutta-percha obturation was successful, concluding the endodontic treatment effectively. **Discussion:** 3D printing in endodontics offers accurate dental models for planning and education, improving clinical practice. Although there are differences between natural teeth, technology shows potential in teaching. **Conclusion:** 3D-printed canine teeth for endodontics are accurate and customizable, but they have limitations in internal morphology and apical fragility. Their use enhances the educational and clinical experience, requiring further research to optimize results.

Keywords: 3D printing, canine teeth, endodontics, dental models, artificial teeth.

INTRODUCCIÓN

La odontología, como disciplina médica, ha experimentado una notable evolución en las últimas décadas, impulsada en gran medida por los avances tecnológicos. (1) Uno de los desarrollos más prometedores en este campo es la tecnología de impresión 3D, que ha revolucionado numerosos aspectos de la práctica odontológica, desde la planificación quirúrgica hasta la fabricación de prótesis dentales personalizadas.(2)

En particular, la endodoncia, rama de la odontología dedicada al tratamiento de los tejidos internos del diente, ha encontrado en la impresión 3D una herramienta invaluable para mejorar la calidad y precisión de sus procedimientos. (3,4) La capacidad de replicar con precisión la anatomía dental mediante modelos tridimensionales facilita significativamente la práctica de la endodoncia, así permite a los profesionales desarrollar y perfeccionar sus habilidades en un entorno controlado y realista. (5,6)

Clínicamente la terapia endodóntica trata efectivamente diversas patologías como pulpitis, necrosis y periodontitis periapical, esta terapéutica incluye procesos como la preparación químico-mecánica, la conformación, esterilización y obturación del conducto radicular(7). Durante los procesos del tratamiento es crucial determinar la longitud del canal radicular, su morfología y dirección para evitar la creación de falsas vías, perforación, subobturación o sobreobturación del canal las cuales son la causa de fracaso en un tratamiento, mostando que el porcentaje de fracaso de la endodoncias incurre en un 24% (8)

Los dientes caninos tienen raíces más largas y con curvas más pronunciadas en comparación con otros dientes, lo que puede dificultar el acceso adecuado a los conductos radiculares durante la endodoncia. Esta anatomía irregular aumenta la probabilidad de que los instrumentos endodónticos no puedan alcanzar todos los rincones y recovecos de los conductos radiculares, lo que puede resultar en una limpieza incompleta o una obturación inadecuada. La variabilidad anatómica también es un factor para considerar al tratar los dientes caninos en la endodoncia, la presencia de conductos radiculares adicionales, como conductos laterales o accesorios, es común en estos dientes, lo que puede pasar desapercibido durante el tratamiento y conducir a una persistencia de la infección o una recurrencia de los síntomas.(9)

Además, la posición estratégica de los dientes caninos en la boca, especialmente en el maxilar superior, puede dificultar el acceso cameral y radicular durante el tratamiento endodóntico. Esto puede requerir el uso de técnicas avanzadas de imagen, como la radiografía digital o la tomografía computarizada, para una mejor visualización y planificación del tratamiento. (10)

La formación endodóntica mediante modelos de dientes 3D ha revolucionado la manera en que los estudiantes y profesionales de la odontología adquieren habilidades prácticas. Estos modelos tridimensionales ofrecen una representación precisa de la anatomía dental, permitiendo a los estudiantes practicar procedimientos endodónticos de manera realista y sin riesgos para los pacientes. Al interactuar con estos modelos, los futuros endodoncistas pueden desarrollar destrezas en la identificación de conductos radiculares, el uso de instrumentos endodónticos y la aplicación de técnicas de obturación, lo que contribuye a una formación más completa y efectiva. Además, la disponibilidad de modelos 3D facilita la enseñanza práctica preclínica y el acceso a la educación continua para profesionales establecidos, promoviendo así el avance en la práctica clínica y la mejora de los resultados del tratamiento endodóntico.(2)

En este contexto, el presente trabajo se enfocó en explorar el uso de la impresión 3D para la fabricación de dientes caninos sintéticos destinados a prácticas de endodoncia, así como estos modelos dentales, basados en imágenes radiográficas y escaneos tomográficos de alta precisión, proporcionan una representación fiel de la morfología dental, incluidas las complejas estructuras internas como los conductos radiculares y la pulpa dental.

MATERIALES Y METODOS

Selección y protocolo en paciente

Se llevó a cabo un estudio experimental descriptivo transversal para evaluar la compatibilidad entre dientes artificiales impresos en 3D y los dientes de un paciente real, mediante el uso de tomografías computarizadas y la tecnología de impresión 3D

Se seleccionó un único paciente que cumplía con los siguientes criterios: ser adulto con dentición permanente completa, gozar de óptima salud periodontal y sistémica. Se excluyeron pacientes con caries, enfermedad periodontal, dentición incompleta o

alterada, tratamiento de conducto, así como aquellos con patologías de tejidos blandos y duros.

Una vez seleccionado el paciente que cumplía con los criterios mencionados, se le solicitó firmar un consentimiento informado para el manejo de sus datos y exámenes clínicos, así como su utilización en la parte experimental.

El permiso para el estudio fue otorgado por el comité de ética de investigación en seres humanos de la Universidad Católica de Cuenca CEISH-UCACUE-2023-177.

Creación de los prototipos 3d

Los datos de imagen 3D obtenidos de las exploraciones CBCT fueron exportados al software 3DSlicer (5.22) para separar el tejido dental del hueso alveolar correspondiente y orientar la reconstrucción de la pieza dental. Posteriormente, el archivo se exportó a Meshmixer (3p5) para alinear y ajustar la morfología interna del diente, tomando como referencia la literatura sobre la anatomía dental, con el objetivo de lograr una precisión milimétrica.

Seguidamente, los datos 3D de los dientes modificados fueron exportados para su posterior impresión 3D. Utilizando resina fotosensible (Water-wash resin+ Anycubic clear y Water-wash resin+ Anycubic white) de ultra precisión y una impresora 3D (Anycubic Photon M3), se produjeron los dientes artificiales impresos in vitro en 3D con una precisión y con una resolución XY de hasta 51 micrones (0.051 mm) y una resolución Z de hasta 10 micrones (0.01 mm)

El proceso fue replicado y con ligeras modificaciones en varias versiones para así lograr perfeccionar el prototipo y que cumpla con los parámetros de precisión morfológica a vista clínica y resistencia químico-mecánica en el proceso endodóntico

Iteración y evolución del prototipo

Para evaluar el resultado clínico y el desempeño mecánico que permitió llegar al prototipo final objeto del estudio, se ha implementado una metodología que utiliza una tabla de evaluación con una escala categórica de malo, regular y bueno. Esta tabla clasifica dos aspectos clave: el resultado clínico, que compara la morfología y el aspecto del diente 3D con las características descritas en la literatura, y el desempeño mecánico, que analiza la resistencia, durabilidad y efectividad del diente impreso en la práctica endodóntica. El

procedimiento incluye la recopilación de datos en diferentes fases, que luego se registran en la tabla con sus respectivas características. Posteriormente, se lleva a cabo un análisis de los resultados para identificar áreas de mejora y éxito, y determinar si el prototipo cumple con los requisitos funcionales esperados. (tabla1)

Análisis del prototipo

En consonancia con el objetivo principal del estudio, se llevó a cabo un análisis práctico de naturaleza clínica en el ámbito endodóntico para evaluar la calidad y utilidad de los prototipos. Las pruebas consistieron en análisis visual, clínico y mecánico endodóntico.

Examen clínico-visual:

Se procedió a examinar el diente impreso en 3D para evaluar su forma general, tamaño y detalles anatómicos. Durante esta evaluación, se observaron posibles imperfecciones superficiales, como burbujas de aire o áreas mal definidas.

Se llevó a cabo una evaluación de la forma y longitud de la raíz del diente impreso en 3D para garantizar que coincidiera con las características anatómicas esperadas. Este examen se centró en verificar la ausencia de deformidades que pudieran afectar la anatomía natural del diente, para esto se utilizó un calibrador y tomando como referencia datos demarcados en la literatura.

Para evaluar los caninos superiores e inferiores permanentes, se consideraron varios parámetros esenciales que aseguran su precisión. Estos incluyen la longitud de la corona (10 mm en los caninos superiores y 11 mm en los inferiores) y la longitud de la raíz (aproximadamente 17 mm en ambos). Se analizó la morfología radicular, que debe ser robusta, con una sola raíz en la mayoría de los casos y un canal radicular recto o ligeramente curvado. La anchura mesiodistal de la corona también fue medida, con un promedio de 7.5 mm en los caninos superiores y 7 mm en los inferiores. En términos de parámetros internos, se verificó la estructura interna del diente, incluyendo la densidad y la integridad de la dentina, así como la permeabilidad del canal radicular. (11)

Examen mecánico endodóntico

Se utilizó la técnica stepback(12) para realizar el tratamiento sobre el prototipo impreso. Durante el procedimiento, se llevó a cabo el acceso cameral utilizando una fresa redonda de cuello largo con codificación azul y grano grueso. Se verificó la sensación de "caída

al vacío" al romper el techo cameral, y se evaluó la correcta conformación de la cavidad. La permeabilidad del conducto se comprobó mediante el uso de limas manuales tipo K de preserie, y se evaluó la resistencia en el límite apical utilizando limas manuales tipo K de primera y segunda serie (Dentsply) incluyendo calibres 15 al 80. Mediante la preparación químico-mecánica, se analizaron posibles irregularidades, grietas o adelgazamiento de las paredes que pudieran comprometer la resistencia estructural o la hermeticidad frente a irrigantes EDTA, Hipoclorito de sodio al 2.5% y suero fisiológico. Finalmente, se analizó la compatibilidad y resistencia con materiales de obturación como cemento a base de hidróxido de calcio (sealapex), gutapercha primera y segunda serie (Dentsply), estos fueron manipulados mediante el uso de condensadores laterales y verticales (Dentsply). Todo este proceso fue acompañado en cada paso del protocolo por análisis radiográficos periapicales.

Este análisis clínico proporcionó información crucial sobre la idoneidad de los prototipos en el contexto endodóntico, permitiendo una evaluación exhaustiva de su calidad y funcionalidad en situaciones clínicas simuladas

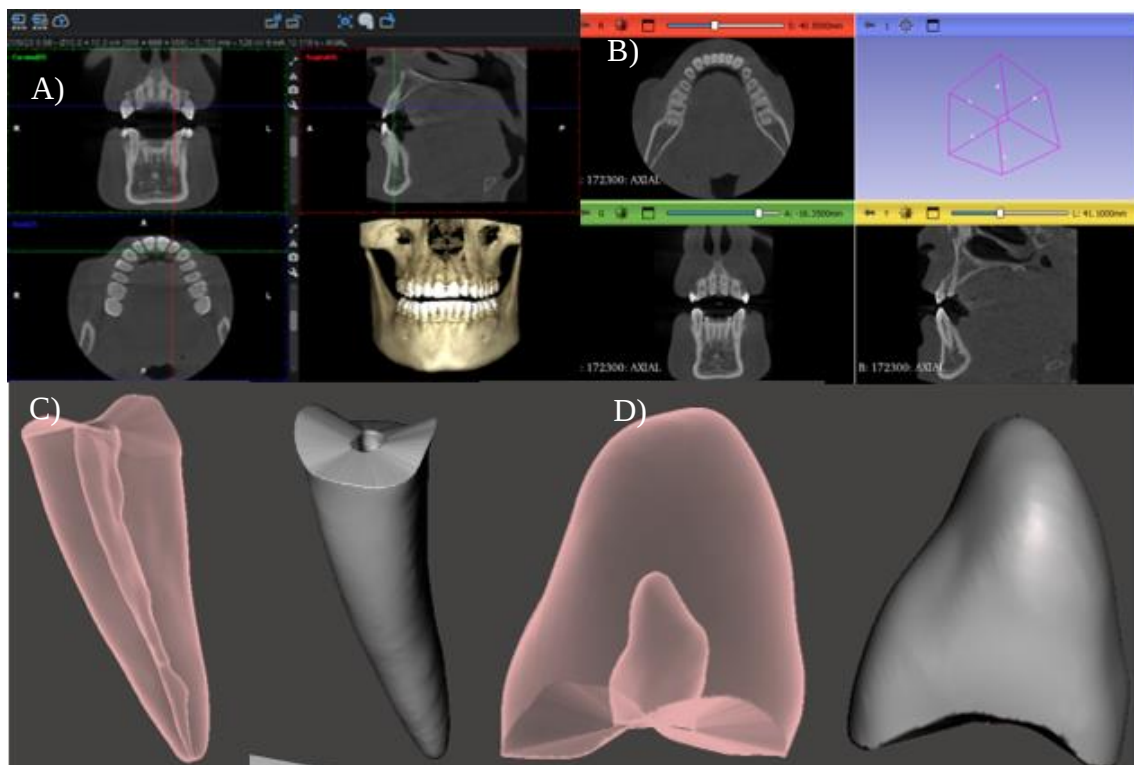


Figura 1: A) archivo CBCT paciente seleccionado, B) exportación DICOM en software 3dslicer, C) modelado raíz y conducto pieza dental meshmixer, D) modelado coronal pieza dental meshmixer

RESULTADOS

Iteración del Prototipo: Versiones Desarrolladas Antes del Modelo Definitivo

Durante el desarrollo del prototipo dental, se realizaron múltiples versiones, cada una de las cuales se sometió a fases de mejora antes de alcanzar la versión definitiva. Estas versiones fueron evaluadas y ajustadas para mejorar aspectos específicos como la resistencia, la compatibilidad con tratamientos endodónticos y la precisión en la conformación de los accesos. Los cambios y mejoras implementados en cada iteración permitieron optimizar el diseño, asegurando que el prototipo final cumpliera con los requisitos clínicos y mecánicos necesarios para un tratamiento efectivo. (tabla1)

Fases	CARACTERISTICAS			Resultado Clínico	Desempeño Mecánico
	Corona	Conducto	Raíz		
Inicial (Figura 2)	Translúcida con recubrimiento de pintura	Visible con relleno acrílico rojo	Translúcida morfología amplia	Malo	Malo
Intermedia (Figura 2)	Translúcida	Visible hueco	Translúcida	Bueno	Regular
Final (Figura 2)	Blanca con acceso definido	Visible hueco	Translúcida morfología correcta	Bueno	Bueno

Tabla 1 Iteración prototipado dental en fases de desarrollo

Tabla 1 Autoría propia

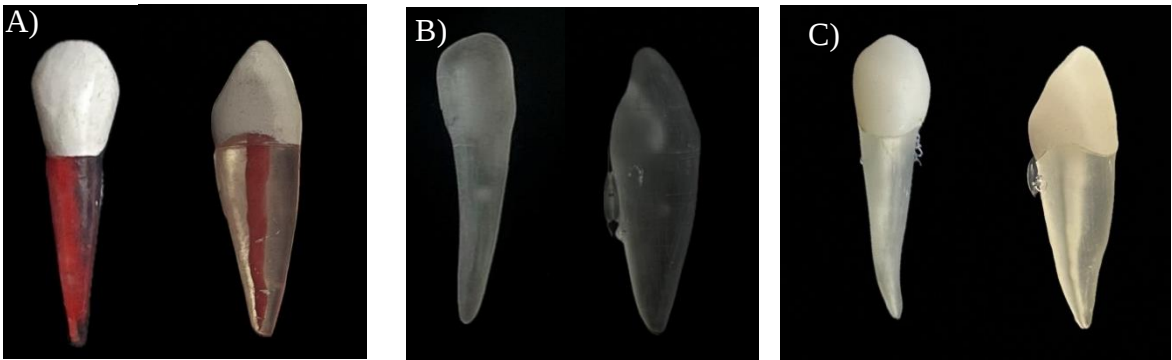


Figura 2: A) Fase inicial prototipo dental, B) Fase intermedia prototipado dental, C) Fase final prototipo dental

RESULTADOS PROTOTIPO FASE FINAL

Precisión morfológica clínica en vista clínica

La forma de los dientes artificiales impresos en 3D, reconstruidos mediante la combinación de CBCT y tecnología de impresión LCD UV, fue consistente con la de los dientes del paciente en la cavidad oral. Los resultados indicaron que los dientes artificiales impresos en 3D presentaban un alto grado de ajuste con los dientes analizados del paciente y mostraban una gran similitud. Además, las exploraciones clínicas y radiográficas revelaron que las secciones transversales en secciones cervical, media y apical de los conductos radiculares de los dientes artificiales impresos en 3D eran similares a las de los dientes del paciente en las posiciones correspondientes, con una ligera discrepancia en la anatomía del conducto radicular.

Resistencia mecánica en protocolo endodóntico

El acceso cameral y la conformación de la cavidad del prototipo dental se llevaron a cabo con el uso de fresas diamantadas de grano grueso con codificación azul y fresas Endo-Z. El diente reaccionó de manera óptima, mostrando una resistencia adecuada sin deformación ni fractura, similar a una pieza dental humana, lo que permitió una conformación de la cavidad de alta calidad.

Posteriormente, se realizó la conductometría, revelando una permeabilidad comparable a la de una pieza dental real. El prototipo mostró variabilidad en radiolucidez y radiopacidad en diferentes puntos de densidad, permitiendo la visibilidad del instrumental en su interior y facilitando así el progreso del tratamiento clínico. (Figura 3)

El siguiente paso fue la preparación químico-mecánica. El prototipo demostró una notable resistencia a irrigantes endodónticos como el hipoclorito de sodio, EDTA y suero fisiológico, sin evidencia de desprendimiento o corrosión. Este procedimiento, realizado con limas endodónticas, indicó una gran compatibilidad y proporcionó sensaciones

clínicas idénticas a las obtenidas en tratamientos reales, aun así, se identificó fragilidad en tercio apical lo cual disminuía ligeramente la calidad y las sensaciones en el tratamiento. (Figura 3)

Finalmente, la obturación se llevó a cabo con conos de gutapercha, los cuales lograron una excelente compatibilidad y adaptación en el interior del prototipo. Estos se visualizaron claramente mediante el uso de radiografías periapicales, lo que facilitó la finalización exitosa del tratamiento endodóntico. (Figura3)

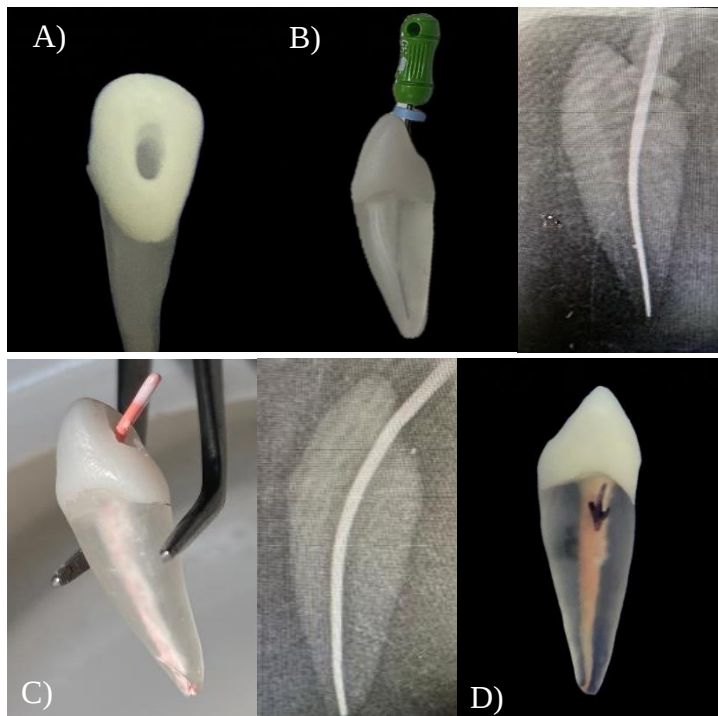


Figura 3: A) apertura cameral, B) conductometría, C) conometría, D) obturación final

DISCUSIÓN

La impresión 3D ha emergido como una herramienta indispensable en la odontología moderna, especialmente en el campo de la endodoncia, debido a su capacidad para crear modelos dentales personalizados con una precisión y detalle excepcionales.(13) Esta tecnología ha revolucionado la manera en que se planifican y realizan los tratamientos, facilitando la producción de réplicas anatómicamente idénticas y guías endodónticas adaptadas a las necesidades específicas de cada paciente.(14)

La fabricación de biomodelos o réplicas anatómicas ultra-realistas a partir de imágenes médicas como tomografías computarizadas (TAC) o resonancias magnéticas (RM) utilizando impresión 3D avanzada, permite al personal médico evaluar de forma rigurosa la anatomía del paciente con un alto nivel de detalle. Esto resulta especialmente útil para analizar la morfología radicular, la presencia de conductos accesorios, curvaturas y otras características que pueden complicar el tratamiento endodóntico (15). Al disponer de un modelo físico preciso, el profesional puede seleccionar los instrumentos endodónticos adecuados, y anticipar posibles dificultades, permitiéndoles practicar en casos clínicos realistas sin riesgo para los pacientes. También pueden emplearse para explicar a los pacientes su condición y el plan de tratamiento de manera más comprensible.(16)

En este estudio se encontró que replicar modelos anatómicos precisos de las estructuras dentales de un paciente permite predecir cómo se desarrollará un tratamiento endodóntico y visualizar qué se debe realizar o evitar para minimizar complicaciones durante el procedimiento clínico. Autores como Shah et al. (17), destacan que los modelos impresos en 3D pueden utilizarse en endodoncia como una ayuda didáctica para que los estudiantes comprendan mejor las morfologías del diente, la raíz y el conducto, y para simular la cavidad de acceso y la preparación del conducto radicular. Estos modelos permiten a los estudiantes practicar y perfeccionar sus habilidades en un entorno controlado y repetible, lo que es crucial para su desarrollo profesional. Además, los modelos impresos en 3D pueden utilizarse para evaluar la progresión de las habilidades de los estudiantes de manera estandarizada e imparcial.

Con esta investigación se logró crear una vista previa de cómo mejorar la estética y funcionalidad de modelos de practica para estudiantes mejorando la confianza y visión a futuro de los mismos en episodios clínicos reales se señaló que se prefiere el uso de dientes impresos en 3D en la endodoncia porque estos modelos no solo lucen mejor y son más precisos en comparación con las alternativas tradicionales, sino que también permiten cumplir con todos los pasos necesarios para un tratamiento endodóntico completo. La alta precisión de los modelos impresos en 3D facilita una representación exacta de la anatomía dental, lo que es crucial para simular de manera efectiva la cavidad de acceso y la preparación del conducto radicular. Esto asegura que los estudiantes y profesionales puedan practicar y perfeccionar sus técnicas en un entorno controlado, lo que se traduce en una mayor eficiencia y efectividad en los tratamientos reales.(18)

Sin embargo, Kolling M, et al. (19), mencionan que existen limitaciones en el uso de esta tecnología. Los nuevos modelos innovadores en la enseñanza de la endodoncia deben revisarse y compararse cuidadosamente con los modelos de formación habituales. Hasta la fecha, los dientes extraídos se consideran el estándar de oro en la enseñanza preclínica. La cuestión clave recae hasta qué punto los modelos impresos en 3D pueden estar a la altura de este estándar. La equidad en la obtención del material adecuado, las oportunidades para adquirir competencias, la normalización de los exámenes prácticos y los aspectos higiénicos fundamentales determinan finalmente la elección del método didáctico.(20)

En esta investigación se ha identificado que los dientes impresos en 3D presentan características óptimas para el entrenamiento dental de los estudiantes en el área de endodoncia. Estos modelos permiten realizar un tratamiento completo, desde el inicio hasta el final, sin interrupciones ni molestias, proporcionando una experiencia de aprendizaje continua y efectiva. Contrariamente a este estudio, los resultados de trabajo de Al Sudani (21) sugieren que, aunque los dientes artificiales de resina tienen múltiples ventajas, no pueden sustituir a los dientes naturales debido a la falta de ciertas variaciones y la dureza propia de las piezas dentales reales. No obstante, la tecnología de impresión 3D tiene un gran potencial para expandir sus horizontes en el campo de la enseñanza, creando nuevas metodologías de planificación previa al tratamiento que disminuyen los errores y evitan la omisión de patologías.

Adicionalmente, según Reis T, et al. (22), esta tecnología puede mejorar la gestión de los procedimientos endodónticos al permitir la duplicación y el mantenimiento de registros precisos, educar al paciente y ayudar en la planificación del tratamiento mediante una mejor visualización y determinación de puntos de referencia anatómicos importantes o patologías como la reabsorción radicular interna/externa. También permite la fabricación de guías quirúrgicas o direccionales, lo que mejora significativamente la precisión de los procedimientos.

La cuestión principal sigue siendo cómo influye realmente el enfoque didáctico y la oportunidad de practicar en los cursos preclínicos en el resultado del tratamiento de conductos radiculares en el entorno clínico. A este respecto, cabe señalar que Tchorz et al. (23) no pudo detectar diferencias de calidad en función de la formación previa con modelos al realizar tratamientos de conductos radiculares en pacientes por primera vez.

En el estudio de Peters et al. (24) se hace énfasis en que las réplicas dentales fabricadas a partir de escaneados CBCT o microCT de como complemento de los dientes naturales. Las mejoras en los materiales de resina y el hardware de impresión 3D darán lugar a modelos aún más realistas para una mejor adquisición de destrezas, evitando el uso de tejidos biológicos.

A pesar de algunas dudas y limitaciones, los resultados positivos de estudios recientes y las ventajas reconocidas sugieren que los dientes impresos en 3D deberían integrarse en la formación odontológica de manera rutinaria. La tecnología de impresión 3D permite a los educadores reproducir cualquier forma de diente y/o variación del sistema radicular-canal que se encuentra en las clasificaciones endodónticas. Un mayor desarrollo técnico de los dientes impresos en 3D sentará las bases para la formación en equipos médico-odontológicos integrados y mejorará la atención centrada en el paciente en el futuro.(25)

CONCLUSIÓN

En conclusión, el prototipo de dientes caninos impresos en 3D para la formación endodóntica ha demostrado ser exitoso en varios aspectos clave, facilitando la creación de un modelo útil en odontología específicamente el área endodóntica. Aunque destaca por su fidelidad y la capacidad de personalización que ofrece la impresión 3D, es esencial reconocer las limitaciones actuales, especialmente en la morfología interna y la fragilidad del modelo, específicamente en el tercio apical, que limitan su efectividad y durabilidad en situaciones clínicas .

La integración de estas tecnologías en la educación y práctica odontológica proporciona una experiencia de aprendizaje más realista y detallada. No obstante, para alcanzar su máximo potencial, se requiere una mayor investigación y desarrollo enfocado en mejorar la durabilidad de los materiales impresos y en lograr una reproducción más exacta de la complejidad anatómica y biológica de los dientes naturales.

En consecuencia, continuar explorando y refinando estas tecnologías es fundamental para aumentar su efectividad y aplicabilidad en la formación endodóntica, asegurando así avances significativos en el campo de la odontología moderna.

Referencias Bibliográficas

1. Dobroś K, Hajto-Bryk J, Zarzecka J. The 3D printed teeth models intended for hands-on practice in conservative dentistry. *Folia Med Cracov.* 2022;62(1):29–41.
2. Höhne C, Schmitter M. 3D Printed Teeth for the Preclinical Education of Dental Students. *J Dent Educ.* 2019;83(9):1100–6.
3. Anderson J, Wealleans J, Ray J. Endodontic applications of 3D printing. *Int Endod J.* 2018;51(9):1005–18.
4. Reis T, Barbosa C, Franco M, Baptista C, Alves N, Castelo-Baz P, et al. 3D-Printed Teeth in Endodontics: Why, How, Problems and Future—A Narrative Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(13).
5. Reymus M, Fotiadou C, Kessler A, Heck K, Hickel R, Diegritz C. 3D printed replicas for endodontic education. *Int Endod J.* 2019 Jan 1;52(1):123–30.
6. Liang X, Liao W, Cai H, Jiang S, Chen S. 3D-printed artificial teeth: Accuracy and application in root canal therapy. *J Biomed Nanotechnol* [Internet]. 2018 Aug 1;14(8):1477–85. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29903062/>
7. A.Walmsley D. Management of pulpal and periradicular disease. In: *Restorative Dentistry.* Churchill Livingstone; 2007. p. 89–113.
8. Valle M, Vuano E. Categorización del fracaso para el tratamiento endodóntico primario. *Medicina (B Aires).* 2007;6(1):3–11.
9. Oporto V. GH, Fuentes F. RE, Soto P. CC. Variaciones anatómicas radiculares y sistemas de canales. *Int J Morphol.* 2010;28(3):945–50.
10. Javier F, Morales U. Clasificación de caninos retenidos y su aplicación clínica. *Rev ADM.* 2001;1(1):21–30.
11. Garza R. Anatomía dental Segunda edición.
12. El-Kishawi M, Khalaf K. An Update on Root Canal Preparation Techniques and How to Avoid Procedural Errors in Endodontics. *Open Dent J.* 2021 Aug 25;15(1):318–24.

13. Meglioli M, Mergoni G, Artioli F, Ghezzi B, Manfredi M, Macaluso GM, et al. A Novel Self-Assessment Method for Training Access Cavity on 3D Printed Endodontic Models. *Dent J*. 2023;11(6).
14. Kucher M, Dannemann M, Modler N, Böhm R, Hannig C, Kühne MT. Determination of a Representative and 3D-Printable Root Canal Geometry for Endodontic Investigations and Pre-Clinical Endodontic Training-An Ex Vivo Study. *Dent J [Internet]*. 2023 May 1 [cited 2024 Jun 23];11(5). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37232784/>
15. Fakhr M, Nagy MM. Three-Dimensional tooth models for better teaching and treatment outcomes. *Eur J Dent Educ [Internet]*. 2023 Aug 1 [cited 2024 Jun 23];27(3):695–9. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36153811/>
16. Petre AE, Pantea M, Drafta S, Imre M, Țâncu AMC, Liciu EM, et al. Modular Digital and 3D-Printed Dental Models with Applicability in Dental Education. *Med*. 2023 Jan 1;59(1).
17. Shah P, Chong BS. 3D imaging, 3D printing and 3D virtual planning in endodontics. Vol. 22, *Clinical Oral Investigations*. Springer Verlag; 2018. p. 641–54.
18. Pouhaër M, Picart G, Baya D, Michelutti P, Dautel A, Pérard M, et al. Design of 3D-printed macro-models for undergraduates' preclinical practice of endodontic access cavities. *Eur J Dent Educ*. 2022 May 1;26(2):347–53.
19. Markus Kolling 1, Joy Backhaus 1, Norbert Hofmann 2, Stefan Keß 3, Gabriel Krastl 2, Sebastian Soliman 2 SK 1. Students' perception of three-dimensionally printed teeth in endodontic training. *Eur J Dent Educ [Internet]*. 2022;26(4):653–61. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34921718/>
20. Jeong M, Radomski K, Lopez D, Liu JT, Lee JD, Lee SJ. Materials and Applications of 3D Printing Technology in Dentistry: An Overview. Vol. 12, *Dentistry Journal*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2024.
21. Al-Sudani DI, Basudan SO. Students' perceptions of pre-clinical endodontic training with artificial teeth compared to extracted human teeth. *Eur J Dent Educ [Internet]*. 2017 Nov 1 [cited 2024 Jun 23];21(4):e72–5. Available from:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27495270/>

22. Reis T, Barbosa C, Franco M, Silva R, Alves N, Castelo-Baz P, et al. Three-Dimensional Printed Teeth in Endodontics: A New Protocol for Microcomputed Tomography Studies. *Materials (Basel)*. 2024 Apr 1;17(8).
23. Tchorz JP, Brandl M, Ganter PA, Karygianni L, Polydorou O, Vach K, et al. Pre-clinical endodontic training with artificial instead of extracted human teeth: does the type of exercise have an influence on clinical endodontic outcomes? *Int Endod J* [Internet]. 2015 Sep 1 [cited 2024 Jun 23];48(9):888–93. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25266846/>
24. Peters O, Scott R, Arias A, Lim E, Paqué F, Almassi S, et al. Evaluation of Dental Students' Skills Acquisition in Endodontics Using a 3D Printed Tooth Model. *Eur Endod J*. 2021;6(3):290–4.
25. Tawasinchanadech N, Thammasitboon S, Buranadham S, Thammasitboon K. Mastery Learning in Preclinical Endodontics Using Customized 3D-Printed Tooth Models for Deliberate Practice: An Application of Educational Design Research. *J Endod* [Internet]. 2024 Jun [cited 2024 Jun 23]; Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38906527/>